DIE SCHULE

DER

ELEMENTAR-MECHANIK

UND

MASCHINENLEHRE.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

DIE SCHULE

DER

ELEMENTAR-MECHANIK

UND

MASCHINENLEHRE

für

den Selbstunterricht

angehender Techniker, Mechaniker, Industrieller,
Landwirthe, Bergmänner, Architekten, Bauhandwerker,
Werkführer, Mühlen- und Fabrikbesitzer

sowie für

Gewerbe- und Realschulen.

Zum Theil nach Delaunay's Cours élémentaire de Mécanique

frei bearbeitet

von

DR. H. SCHELLEN,

Director der Realschule erster Ordnung zu Cöln.

In zwei Theilen.

Mit circa 800 in den Text eingedruckten Holzstichen.

Zweiter Theil.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1 8 6 2.

396-9g.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Inhalt des zweiten Theiles.

Seite

Mechanik der flüssigen und luftförmigen Körper.

Gleichgewicht und Druck der Flüssigkeiten 1

Verschiebbarkeit der Theilchen . . 1
Gleichmässige Fortpflanzung des Druckes 2
Druck im Innern der Flüssigkeiten . 5
Druck in einer schweren Flüssigkeit 7
Druck gegen einen Punkt der Wand 11
Die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten 12
Das Princip der hydraulischen Presse 15
Die freie Oberfläche einer schweren Flüssigkeit 17
Der Druck der Flüssigkeiten in Gewichtstheilen 19
Der Druck gegen die Seitenwand . 20
Druck auf den horizontalen Boden . 24
Die Oberfläche der Trennungsschicht zweier verschiedener Flüssigkeiten 32
Communicirende Gefässe 33
Die Flüssigkeiten unter dem Einflusse irgend welcher Kräfte 37
Ebbe und Fluth 41
Capillarität 43

Gleichgewicht und Druck der luftförmigen Körper 47

Expansivkraft der Gase 47
Fortpflanzung des Druckes in den Gasen 49
Die Gase sind schwer 50
Der Druck im Innern der schweren Gase 52
Die Atmosphäre 53
Der Atmosphärendruck 55

Seite

Der Torricelli'sche Versuch . . 58
Die Grösse des Luftdruckes 60
Das Barometer 62
Barometrische Höhenmessung . . . 66
Reisebarometer. — Metallbarometer . 67
Das Mariotte'sche Gesetz 73
Ausdehnung der Gase 75
Einfluss des Luftdruckes auf das Gleichgewicht der Flüssigkeiten . 77
Communicirende Gefässe unter ungleichem Drucke 79
Heben der Flüssigkeiten durch Saugen 81
Heben der Flüssigkeiten durch Druck 82
Mittel zur Erhaltung eines constanten Niveaus 83
Manometer 86
Geschlossenes Quecksilbermanometer 86
Gleichgewicht der Flüssigkeiten und der Gase bei ungleicher Erwärmung ihrer einzelnen Theile 87
Störung des Gleichgewichtes der Flüssigkeiten und der Luft durch ungleiche Erwärmung 90
Der Wetterzug in den Bergwerken . 92
Der Zug der Schornsteine 96

Gewichtsverlust der Körper in Flüssigkeiten und in der Luft 98

Das Archimedische Princip . . 98
Die hydrostatische Wage 100
Der Auftrieb der Flüssigkeiten . . 102
Das Schwimmen der Körper . . . 105
Bestimmung des specifischen Gewichtes 111
Aräometer 113
Die Senkspindeln 115
Tabelle der specifischen Gewichte . 117
Schwimmen der Schiffe 120
Kanäle. — Schleusen 122

	Seite
Gewichtsverlust eines Körpers in der Luft	128
Der Luftballon	129
Die Grösse der Steigkraft	134
Die Bewegung der Flüssigkeiten und der Gase	135
Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeiten	135
Experimentaler Nachweis für die Richtigkeit der vorigen Formel	137
Die Ausflussmenge	138
Form des ausfliessenden Strahles	141
Wirkung der Ansatzröhren	146
Conische Ansatzröhren	149
Anwendungen	151
Die Heber	152
Constanter Ausfluss	156
Intermittirender Ausfluss	157
Intermittirende Quellen	158
Der Heronsbrunnen	160
Bewegung d. Flüssigkeiten in Röhren	163
Veränderungen in dem Querschnitte einer Röhre	169
Schieber, Hähne, Klappen, Ventile	172
Springbrunnen	174
Artesische Brunnen	175
Absorbirende Brunnen	184
Die Bewegung des Wassers in Kanälen	185
Bewegung des Wassers in den Flüssen	190
Messung der Geschwindigkeit des fliessenden Wassers. — Hydrometer	193
Die mittlere Geschwindigkeit des Wassers	197
Messung der Wassermenge eines Flusses	198
Wassermesser	201
Ausflussgeschwindigkeit eines Gases	205
Die Ausflussmenge eines Gases	207
Bewegung der Gase in Röhrenleitungen	208
Gasometer	209
Gasmesser. — Gasuhr	211
Messen der Geschwindigkeit eines Luftstromes	218
Druck eines Flüssigkeitsstrahles gegen eine Fläche	219
Druck einer in Bewegung befindlichen Flüssigkeit gegen einen darin eingetauchten Körper	224
Druck eines in Bewegung befindlichen Gases gegen einen Körper	226
Widerstand der Luft bei dem Falle der Körper	227
Wirkung des Steuerruders	229
Bewegung eines Kahnes durch Ruder	231
Bewegung der Schiffe durch Schaufelräder; Dampfschiff	232
Bewegung der Schiffe durch Schrauben; Schraubenschiff	233
Bewegung eines Schiffes mittelst fester Ketten	239
Der Papierdrachen	241
Luftschifffahrt	241
Maschinen zum Heben des Wassers	244
Eimer-Ziehbrunnen	245
Brunnengöpel	247
Die Wurf- und Schwungschaufel	248
Das Wurfrad	249
Das chinesische Schöpfrad	250
Das fränkische Schöpfrad	251
Das Schöpfrad von Laurenz und Thomas	251
Das Schneckenrad	252
Paternosterwerke	255
Die Eimer- oder Kastenkünste	255
Elevatoren	257
Die Baggermaschine	258
Die Schaufel- oder Scheibenkunst	258
Die Archimedische Wasserschnecke	260
Die Wasserschraube oder Tonnenmühle	262
Holländische Wasserschraube	263
Pumpen	264
Die Ventile	265
Der Pumpenkolben	268
Die Saugpumpe	270
Die Hubpumpe	274
Die Saug- und Hubpumpe	275
Die Druckpumpe	278
Die Saug- und Druckpumpe	281
Die doppelt wirkende Saug- und Druckpumpe	282
Der Windkessel	286
Die Feuerspritze	288
Rotationspumpen	290
Die Centrifugalpumpe	293
Pumpenwerke zur Versorgung der Städte mit Wasser. — Wasserleitung	296
Kunstgezeuge für Bergwerke	300
Der Wasserzoll	302
Messung des Wasserquantums einer Pumpe	304
Die hydraulische Presse	308
Die hydraulische Winde	314
Hydraulische Presse mit Röhrenkolben und Differentialkolben	314
Druck und Arbeitsleistung der hydraulischen Presse	320
Anwendung der hydraulischen Presse	323
Verschiedene Systeme von Lampen	325
Die Hängelampe	327
Die Schiebelampe	329
Girard's hydrostatische Lampe	331
Die Carcel'sche Uhrlampe	335
Die Moderateur-Lampe	337
Das Wasser als bewegende Kraft	341
Das Gefälle des Wassers — Wehre	341
Die Arbeitsgrösse eines Wassergefälles	344
Allgemeine Bedingungen für die hydraulischen Motoren	345

Seite

Eintheilung der hydraulischen Umtriebsmaschinen 348
Das unterschlägige Schaufelrad . . 349
Das frei hängende oder das Schiffsmühlenrad 352
Das oberschlägige Zellenrad . . . 353
Das mittelschlägige Wasserrad . . 357
Das Poncelet-Rad 359
Die Stossräder 361
Das Kufenrad 362
Das Princip der Reaction des Wassers 363
Die Whitelaw oder schottische Turbine 367
Die Fourneyron'sche Turbine . 369
Die Callon'sche Turbine 376
Die Fontaine'sche Turbine . . . 377
Die Turbinen von Henschel, Jonval und Köchlin 380
Die Schraubenturbine 382
Girard's hydropneumatische Turbine 384
Allgemeine Bemerkungen über die Anwendung der Wasserräder . . 387
Wirkungsweise und Eintheilung der Wassersäulenmaschinen 389
Die Steuerung 392
Die einfach wirkende einstiefelige Wassersäulenmaschine 396
Die doppelt wirkende Wassersäulenmaschine 404
Die doppelt wirkende Wassersäulenmaschine als Wasserhebungsmaschine 407
Der hydraulische Widder oder der Stossheber 410

Maschinen zur Bewegung der Luft 414

Die Ventil-Luftpumpe 415
Die zweistiefelige Hahnluftpumpe . 420
Anwendung der Luftpumpe . . . 423
Die Compressionspumpe 428
Die Blasebälge 430
Die Gebläse 432
Windregulatoren 433
Der Centrifugal-Ventilator . . . 435
Der Windrad-Ventilator 440
Der Schrauben-Ventilator 441
Das Wassertrommelgebläse 441

Der Wind als bewegende Kraft 444

Die Segelschiffe 444
Windmühlen 446
Regulirung der Windflügelbedeckung 450
Durand's Windrad 453

Die wichtigsten Eigenschaften des Wasserdampfes 458

Die Wärme 458
Ausdehnung der Körper durch die Wärme 459
Die Veränderung des Aggregatzustandes durch die Wärme. Latente Wärme 461
Die Spannung des Wasserdampfes . 462
Grösse der Spannung des Wasserdampfes 464
Calorie oder Wärmeeinheit. Latente Wärme 467
Das specifische Dampfvolumen . . 470
Vergleich zwischen dem niedrig und hoch gespannten Dampf 472
Der mechanische Effect des Wasserdampfes 473

Der Wasserdampf als bewegende Kraft 475

Geschichte der Erfindung der Dampfmaschine 475
Denis Papin 477
Die Savery'sche Maschine . . . 479
Newcomen's atmosphärische Maschine 482
Papin's Hochdruckmaschine . . 486
Die einfach wirkende Watt'sche Maschine 488
Der Condensator 490
Die Expansion des Dampfes . . . 491
Die Cornwall-Dampfmaschine . . 495
Das Glockenventil 503
Das Watt'sche Parallelogramm . . 505
Die doppelt wirkende Watt'sche Niederdruckmaschine 507
Die excentrische Scheibe 515
Der Centrifugal-Regulator und die Drosselklappe 518
Die Hochdruckmaschine ohne Condensation und Expansion 520
Die Umsteuerung der Hochdruckmaschine 527
Das Voreilen des Schiebers . . . 529
Die Expansionsmaschine. — Expansionsschieber 530
Expansionsschieber mit Stufenscheibe 533
Der Expansions-Spaltschieber . . 535
Die Expansionsmaschine v. Woolf 538
Eintheilung der Dampfmaschinen . 541
Dampfmaschine mit schwingendem Cylinder 543
Berechnung des Effectes einer Dampfmaschine ohne Expansion . . . 545
Berechnung des Effectes einer Dampfmaschine mit Expansion 548
Der Dampfkessel 553
Kesselexplosionen 557
Die Sicherheitsventile 560
Das offene Quecksilbermanometer . 564
Das geschlossene Quecksilbermanometer 567
Die Metallmanometer 569
Die Wasserstandsanzeiger 571

Seite
Die Speisevorrichtung 575
Giffard's Dampfstrahlpumpe . . 577
Der Indicator von Watt 579
Das Dampfschiff 583
Die Locomotive 587
Die Crampton'sche Locomotive mit Coulissensteuerung 595
Die Locomobile 597
Mechanische Leistung des Brennmaterials 598
Maschine mit combinirten Dämpfen 600
Maschinen mit überhitztem Dampfe. 601

Die erhitzte Luft als bewegende Kraft 603

Die calorische Maschine Ericsson's 603

Entzündliche Gase als bewegende Kraft 611

Die Lenoir'sche Gaskraftmaschine 611

Zweite Abtheilung.

Mechanik der flüssigen und luftförmigen Körper.

1. Gleichgewicht und Druck der Flüssigkeiten.

Verschiebbarkeit der Theilchen. Die tägliche Anschauung der verschiedenen uns umgebenden Körper hat die Unterscheidung derselben in feste, flüssige und luftförmige gelehrt. Wir geben mit diesen Ausdrücken zwar zu erkennen, dass es eine Verschiedenartigkeit in der Art und Weise giebt, wie die kleinsten materiellen Theilchen zu grösseren Körpermassen unter einander verbunden sind, lassen aber damit das Wesen des inneren Zusammenhanges, seine Ursachen und seine charakteristischen Unterschiede bei den verschiedenen Körpern ganz unberührt. So wenig wir übrigens zu der Erkenntniss dieser inneren Körperzustände auf dem Wege der oberflächlichen Anschauung gelangen können, ebenso wenig erfahren wir hierüber etwas durch die Anwendung von mechanischen oder chemischen Zerkleinerungsmitteln, oder durch die nachfolgende mikroskopische Beobachtung der auf diese Weise erhaltenen kleinsten Theilchen. Nur durch eine sorgfältige Beobachtung aller den verschiedenen Aggregatzuständen eigenthümlichen Erscheinungen und derjenigen Phänomene, welche die Uebergänge der Körper aus einem dieser Zustände in den anderen begleiten, durch ein genaues Studium der chemischen Verbindungen und Zersetzungen, der Krystallisation, der Gesetze des Lichtes, der Wärme, der Elektricität u. s. w., überhaupt durch ein allseitiges Eingehen in die physikalischen und 1

chemischen Processe, welche auf die Veränderungen der Körperzustände Bezug haben, ist man im Stande, über die geheimnissvollen Vorgänge, welche die drei oben genannten Aggregatformen bedingen, einiges Licht zu verbreiten.

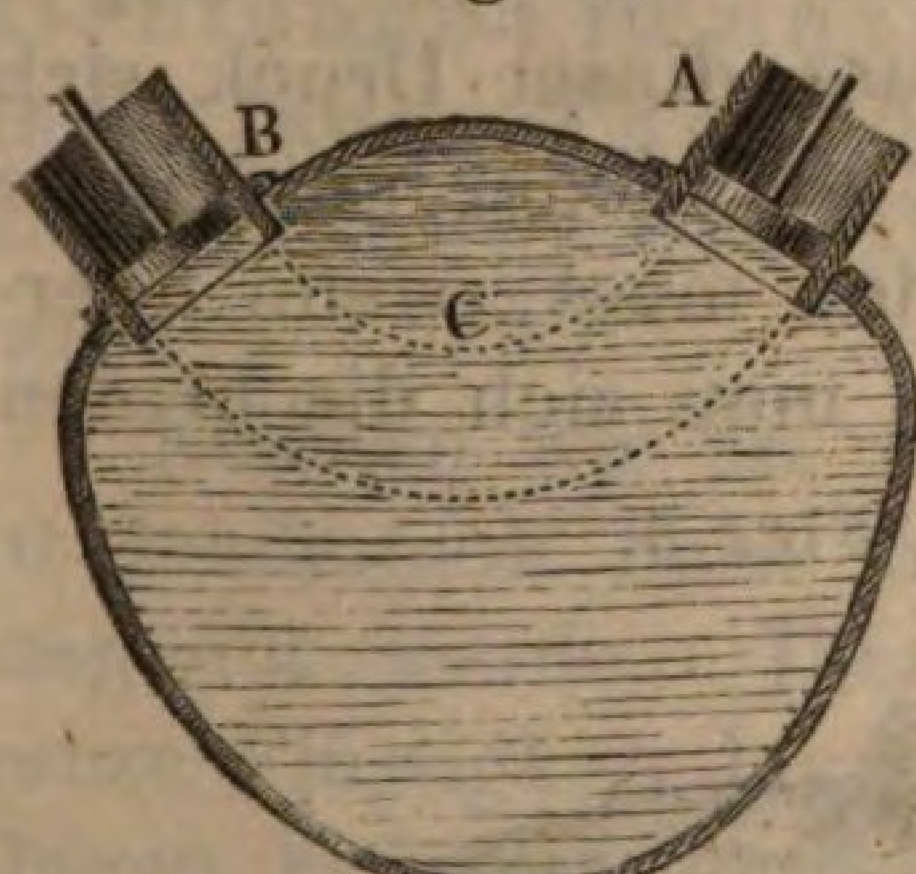
So oft ein fester Körper in kleinere Stücke zerlegt werden soll, ist die Anwendung einer gewissen Kraft, in den meisten Fällen sogar ein durch äussere Kraft in Bewegung gesetztes Werkzeug erforderlich. Messer, Beile, Meissel, Hobel, Sägen, Feilen, Mühlsteine, Diamanten u. s. w. haben den Zweck, die innige Verbindung, welche zwischen den kleinsten Theilchen fester Körper besteht, aufzuheben und dieselben dadurch in kleinere Theile zu zerlegen. Anders verhält es sich mit den flüssigen Körpern. Sehen wir auch hier noch einen gewissen Grad inneren Zusammenhaltens (der Cohäsion) der Moleküle, das sich besonders deutlich bei der Neigung zur Tropfenbildung und bei dem Widerstande gegen bewegte Flächen ausspricht, so ist derselbe doch so gering, dass es nur der Anwendung einer sehr kleinen Kraft bedarf, um diesen Zusammenhalt aufzuheben. Die nächste Folge hiervon ist, dass die Moleküle der Flüssigkeiten eine sehr grosse Verschiebbarkeit haben, dass sie durch eine geringe Kraftanwendung sich von einander trennen lassen und daher einander ausweichen, wenn ein äusserer Druck irgendwie auf sie einwirkt. Uebrigens haben nicht alle Flüssigkeiten einen gleich grossen Grad der Verschiebbarkeit ihrer Theilchen; Schwefelkohlenstoff, Aether gerathen bei einer leisen Erschütterung in lebhafte Bewegung, sie sind leicht fliessend; von den fetten Oelen gilt das Entgegengesetzte; Wasser steht ungefähr in der Mitte zwischen diesen und kann daher als Repräsentant der übrigen Flüssigkeiten angesehen werden. Die Verschiebbarkeit der Moleküle ist bei dem Wasser immer noch so gross, dass dieselben bei der geringsten Kraftanwendung von der Oberfläche nach dem Innern hin oder umgekehrt von dem Boden nach der Oberfläche hin sich bewegen und die Flüssigkeit nach allen Richtungen in geradlinigen wie in geschlängelten Bahnen durchirren, wie eine oberflächliche Anschauung zeigt, wenn man dem Wasser feinen Staub oder Auflösungen von Farbstoffen beimischt, oder wenn man dasselbe durch Erwärmung in Bewegung bringt.

2 **Gleichmässige Fortpflanzung des Druckes.** Alle Körper in unserer Umgebung sind schwer, d. h. sie sind der Anziehungskraft der Erde unterworfen; allein diese Eigenschaft

ist keineswegs eine nothwendige Folge ihrer Masse, wie wir denn bereits früher gesehen haben, dass man das Gewicht eines Körpers mit seiner Masse nicht verwechseln dürfe. Denken wir uns, dass eine Anziehungskraft der Erde gar nicht vorhanden wäre, oder dass wir einen Körper so weit von der Erde und allen Himmelskörpern entfernt hätten, dass diese keine anziehende Wirkung mehr auf ihn ausüben könnten, so bliebe der Körper nichts desto weniger als solcher bestehen; in seiner Masse oder der Gesammtheit seiner materiellen Theile würde eine Aenderung nicht eintreten, aber der Körper hätte aufgehört, schwer zu sein. Wir können daher bei den Körpern die Wirkungen der Molekularkräfte von jenen der Schwere sehr wohl abgesondert betrachten, und müssen sogar zur Vereinfachung der Untersuchung vorerst annehmen, dieselben seien nicht schwer, d. h. gewichtlos.

Unter dieser Voraussetzung denke man sich in Fig. 1 ein Gefäss von beliebiger Form mit einer gewichtlosen Flüssigkeit gefüllt und an zwei beliebigen Stellen mit beweglichen, dicht an die Flüssigkeit anschliessenden Kolben von gleichem Querschnitt versehen. Wird nun auf einen dieser Kolben, *A*, ein Druck ausgeübt, so werden alle mit diesem Kolben in unmittelbarer Berührung stehenden Flüssigkeitstheilchen mit einer gewissen Kraft dem Drucke auszuweichen streben, und zwar nicht bloss in der Richtung des Druckes, sondern weil sie nach allen Richtungen gleich leicht verschiebbar sind, nach allen nur denkbaren Richtungen. Jedes von dem Kolben *A* direct gedrückte Flüssigkeitstheilchen pflanzt daher den erhaltenen Druck ungeschwächt auf die rings herum anstossenden Theilchen fort, jedes dieser Theilchen überträgt ihn ebenso auf die ihm zunächst liegenden Theilchen, und so geht es fort durch die ganze Flüssigkeit *C* hindurch bis zu den Wänden des Gefässes. Der bewegliche Kolben *B* wird daher, da die Flüssigkeiten, wie wir weiter unten sehen werden, fast gar nicht zusammendrückbar sind, nicht an seiner Stelle bleiben, wenn auf den Kolben *A* gedrückt wird; er muss mit derselben Kraft ausweichen, mit welcher der Druckkolben *A* auf die Flüssigkeit aufgepresst worden ist, vorausgesetzt, dass unter beiden Kolben gleich viele drückende Theilchen liegen, oder

Fig. 1.



mit anderen Worten, dass die Kolben mit demselben Querschnitt die Flüssigkeit berühren.

Wird beispielsweise auf den Kolben *A* ein Druck von 10 Pfund ausgeübt, so empfängt der gleich grosse Kolben *B* ebenfalls einen Druck nach aussen von 10 Pfund; soll eine Bewegung der Flüssigkeit und der Kolben nicht eintreten, so muss auf den Kolben *B* ein gleicher Druck von 10 Pfund nach innen ausgeübt werden, um ein Ausweichen desselben zu verhindern. Es folgt also hieraus, dass sich der Druck, welcher auf eine rings eingeschlossene Flüssigkeit an irgend einer Stelle ausgeübt wird, nach allen Richtungen unverändert fortpflanzt, und dass jede Fläche der Wand, welche ebenso gross ist, als diejenige, die den Druck unmittelbar empfängt, auch einen gleich grossen Druck erleidet.

3 Denken wir uns nun, wie in Fig. 2, dass in einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefässe drei gleich grosse Oeffnungen mit den Kolben *A*, *B*, *C* versehen seien und auf einen derselben *C* ein Druck ausgeübt werde, so können wir die vorigen Schlüsse wiederholen und finden dann, dass dieser Druck sich auf jeden der Kolben *A* und *B* fortpflanzt und jeder mit einem gleichen Druck nach innen gepresst werden muss, wenn überhaupt Gleichgewicht bestehen soll. Denkt man sich die beiden

Fig. 2.

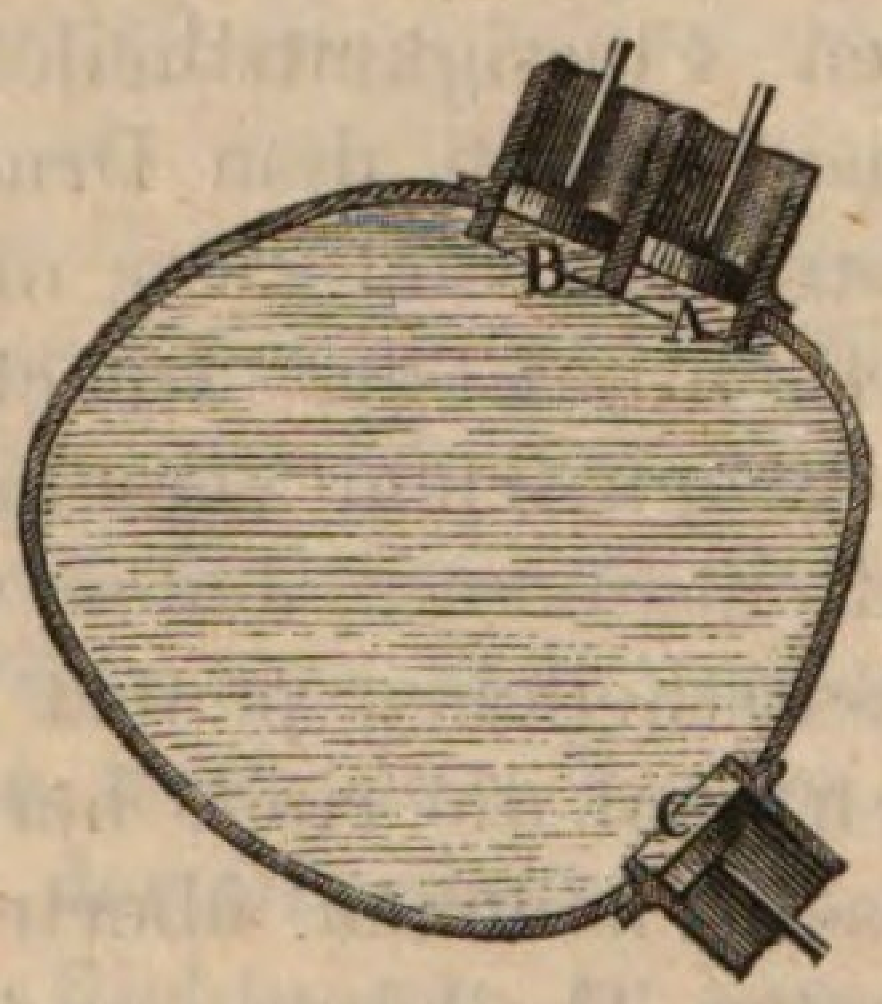
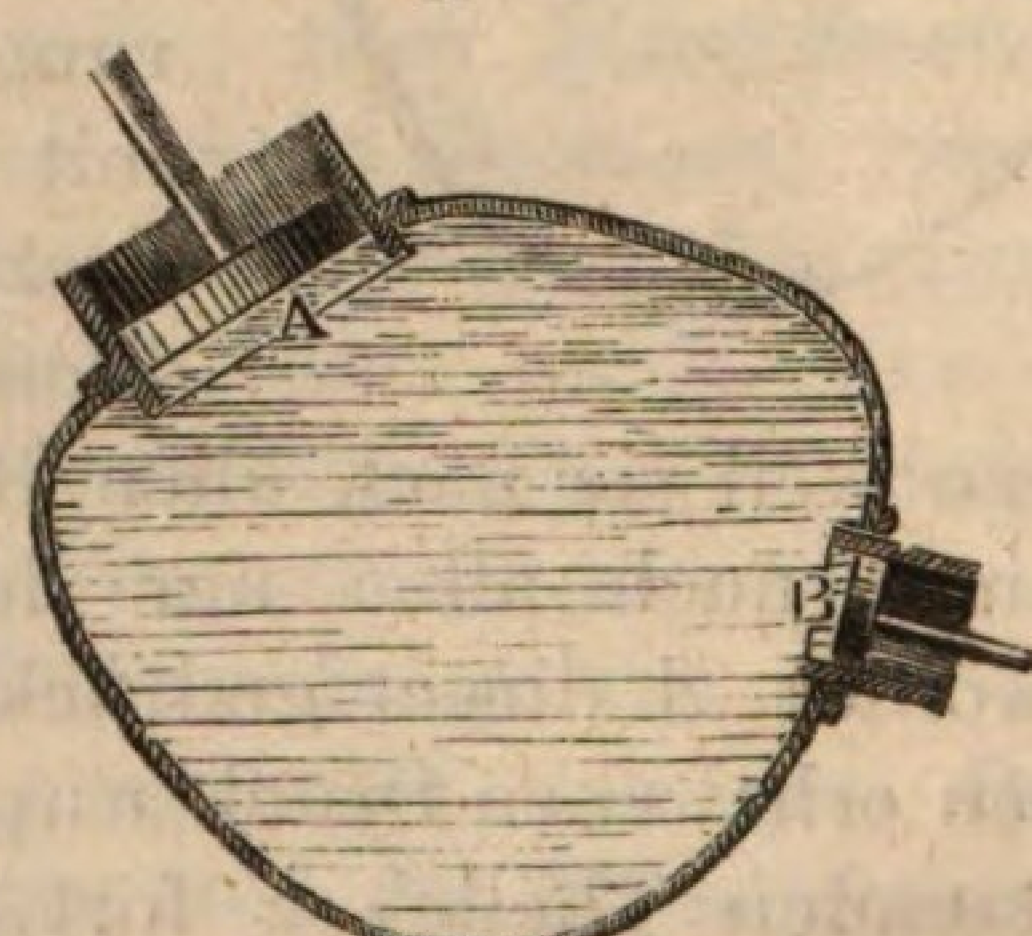


Fig. 3.



Kolben *A* und *B* mit einander verbunden, so ändert das nichts in der Sache; der eine Kolben (*AB*) hat dann die doppelte Fläche, als der erstere Kolben *C*, und es ist klar, dass in diesem Falle die doppelte Fläche *AB* auch einen doppelt so grossen Druck erleidet, als die unter dem Kolben *C* befindliche Flüssigkeitsschicht.

Ebenso kann man weiter schliessen; wenn die Gefässwand, Fig. 3, zwei Oeffnungen *A*, *B* hat, von denen die eine *A* drei-,

vier-, fünfmal so gross ist, als die andere, und diese Oeffnungen mit beweglichen Kolben verschlossen sind, so kann nur dann Gleichgewicht bestehen, wenn auf den ersteren, grösseren Kolben *A* eine drei-, vier-, fünfmal so grosse Kraft ausgeübt wird, als auf den kleineren *B*; überhaupt also müssen für den Fall des Gleichgewichtes die auf die Kolben wirkenden Kräfte dasselbe Verhältniss haben, wie die Querschnitte der Kolben.

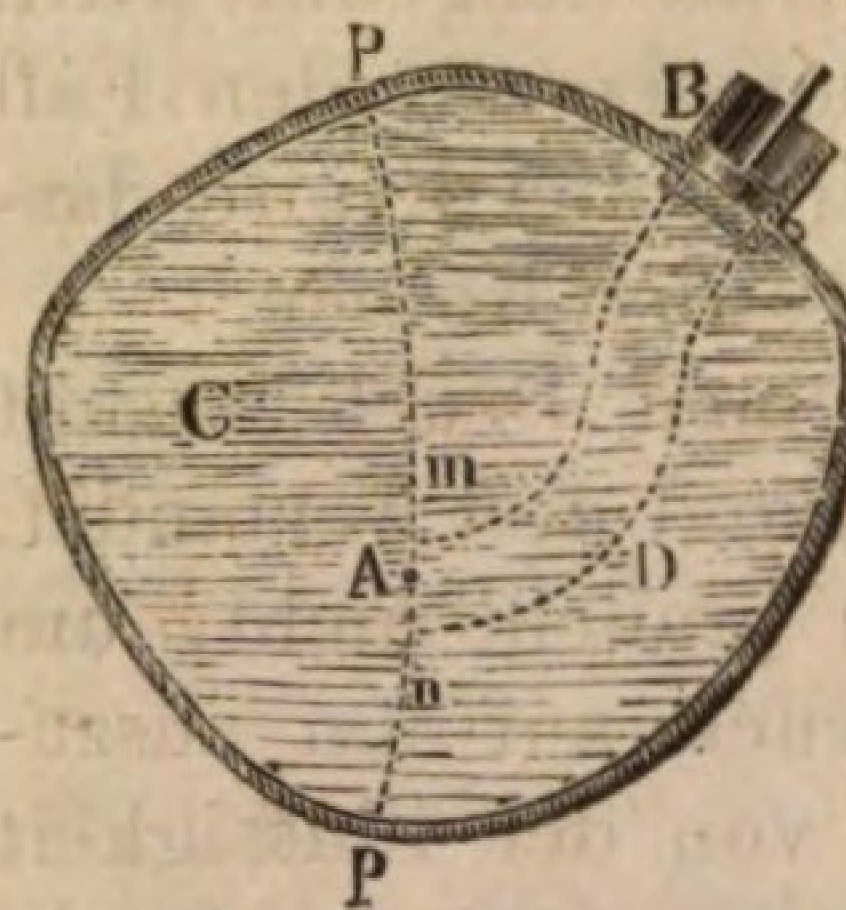
Wenn man auf den einen Kolben *A* einen Druck ausübt und den anderen Kolben *B* mit der Gefässwand fest verbindet, so kann er zwar nicht ausweichen und man braucht nicht, um das Gleichgewicht herbeizuführen, einen Druck auf ihn auszuüben, aber nichts desto weniger erleidet er von der Flüssigkeit denselben Druck, als wenn er beweglich gewesen wäre. Da in diesem Falle die untere Fläche des Kolbens sich in demselben Zustande befindet, wie jeder andere Theil der Gefässwand, so kommen wir zu dem Schlusse, dass der Druck, der auf eine rings eingeschlossene Flüssigkeit nach irgend einer Richtung hin ausgeübt wird, sich nach allen Richtungen in unveränderter Stärke fortpflanzt, und dass jeder Theil der Gefässwand einen Druck erleidet, welcher der Grösse des Wandtheils proportional ist.

Nehmen wir an, dass der Kolben *A* einen Querschnitt von 10 Quadratzoll habe und dass darauf ein Druck von 50 Pfund ausgeübt werde. Dieser Druck pflanzt sich dann durch die ganze Flüssigkeit bis auf die sperrenden Wände fort; nach den obigen Erörterungen beträgt der Druck gegen 1 Quadratzoll 5 Pfund, gegen 2 Quadratzoll 10 Pfund, gegen 3 Quadratzoll 15 Pfund, gegen $1/2$ Quadratzoll $2 1/2$ Pfund u. s. w.; den Druck auf 1 Quadratzoll nennt man den Druck für die Einheit der Fläche.

Druck im Innern der Flüssigkeiten. Nicht bloss auf die sperrenden Wände, sondern auch auf die im Innern der Flüssigkeiten gelegenen Theile derselben, sowie auf Körper, die sich in der Flüssigkeit eingetaucht befinden, wird der Druck, der an irgend einer Stelle ausgeübt wird, gleichmässig fortgepflanzt. Nehmen wir z. B. einen beliebigen Punkt *A*, Fig. 4 (a. f. S.), im Innern einer rings eingeschlossenen gewichtlosen Flüssigkeit und denken uns durch diesen Punkt in einer beliebigen Richtung eine kleine Fläche *m n* gelegt. Wird nun an irgend einer Stelle, z. B. durch den Kolben *B*, auf die Flüssig-

keit ein Druck ausgeübt, so pflanzt sich dieser nicht nur auf alle Theile der sperrenden Wand fort, sondern auch die im Innern der Flüssigkeit gelegene Fläche *mn* erleidet auf beiden Seiten einen entsprechenden Druck. Denn denken wir uns die Fläche *mn* auf irgend eine Weise bis zur Wand des Gefässes verlängert oder, was dasselbe ist, *mn* als einen Theil einer beliebigen festen Scheidewand *pq*, wodurch die Flüssigkeit in zwei von einander gesonderte Theile *C*, *D* getrennt wird, so wird das Gleichgewicht der Flüssigkeit nicht gestört werden, wenn wir annehmen, dass der eine Theil *C* fest sei; auf keinen Fall hat eine solche Annahme irgend einen Einfluss auf das Verhältniss, in welchem sich die eine Seite der Fläche *mn* zu der Flüssigkeitsmasse *D* befindet. Da aber nun diese Fläche *mn* einen Theil der sperrenden Gefässwand bildet, so findet auch das vorhin aufgestellte Gesetz über die Fortpflanzung des Druckes auf dieselbe Anwendung; *mn* erleidet daher von der Seite *D* her einen eben so grossen Druck, als jeder andere Theil der Wand von derselben Grösse.

Fig. 4.



Es ist leicht einzusehen, dass ganz dasselbe auch von der andern *C* zugekehrten Seite der Fläche *mn* gilt; man braucht zu diesem Zwecke die feste Scheidewand *pq* nur so anzunehmen, dass sich der Kolben *B* auf dieser Seite von *mn* befindet; die Fläche *mn* erleidet daher von beiden Seiten einen gleichen Druck und zwar einen ebenso grossen Druck, als jeder gleich grosse Theil der umgebenden Gefässwand.

Denkt man sich durch denselben Punkt *A* nach einander verschiedene Flächen *mn* gelegt, so erleiden alle für dieselbe Einheit der Fläche einen gleich grossen Druck, weil, wie wir eben gesehen haben, die Grösse dieses Druckes von der Richtung der Fläche unabhängig ist. Man sagt daher mit Recht, dass der Druck im Innern einer Flüssigkeit um einen Punkt *A* herum nach allen Richtungen hin gleich gross ist; die Grösse dieses Druckes für die Einheit irgend einer durch diesen Punkt gelegten Fläche nennt man den Druck der Flüssigkeit auf den Punkt *A* selbst. Wenn man z. B. sagt, der Druck im Innern einer Flüssigkeit betrage für den Punkt *A* 20 Pfund, so heisst das, eine jede durch *A* gelegte Fläche von 1 Quadratzoll, welche

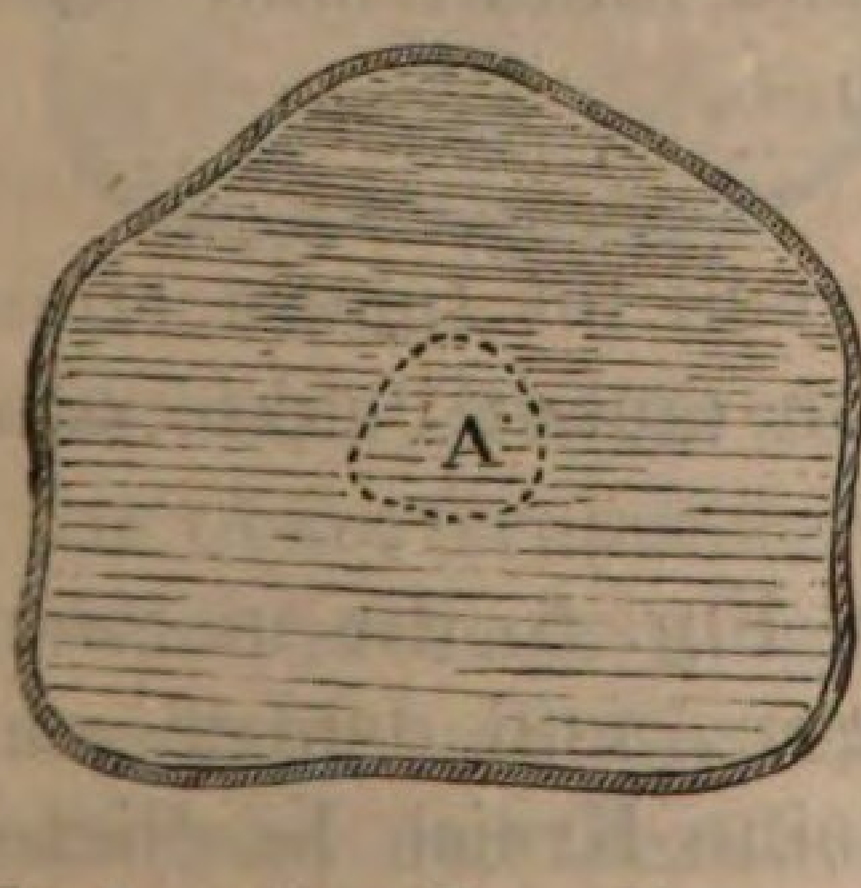
wir als Einheit der Fläche angenommen haben, bekommt auf jeder Seite einen Druck von 20 Pfund.

Ist in einem mit Wasser ganz angefüllten Gefässe, z. B. einer Thierblase, ein Ei, eine Wachsfigur oder sonst ein leicht zerbrechlicher Körper eingeschlossen, so erleiden diese Gegenstände selbst bei einem bedeutenden Drucke auf die Blase nicht die mindeste Beschädigung, weil der Druck auf alle Seiten des Körpers mit gleicher Stärke wirkt und daher das Streben irgend eines Theiles desselben, in Folge des Druckes nach einer Seite auszuweichen, durch einen gleichen entgegengesetzten Druck aufgehoben wird.

Druck in einer schweren Flüssigkeit. Bei den vorigen 5
Untersuchungen sind wir von der Annahme ausgegangen, dass die Flüssigkeiten nicht schwer seien; wir müssen nun zu der Wirklichkeit übergehen und zusehen, wie die erhaltenen Resultate durch die Wirkung der Schwere modificirt werden.

Wenn eine Flüssigkeit ein Gefäss ganz ausfüllt und von demselben rings begränzt wird, so erleiden immer noch alle Theile der Wand einen Druck, sei es, dass man vermittelst eines Kolbens oder sonst wie auf die Flüssigkeit einen äusseren Druck ausübt, oder dass dieser Druck einfach von dem Gewichte der Flüssigkeit selbst herrührt. Aber in diesem Falle ist der Druck für die Einheit der Fläche nicht mehr für alle Punkte der Wand gleich gross; je nach der höheren oder tieferen Lage des Punktes ist der Druck auf denselben in Folge des Gewichtes der Flüssigkeit sehr verschieden. Fasst man aber den Druck ins Auge, welcher auf die einzelnen durch einen und denselben Punkt A, Fig. 5, im Innern einer Flüssigkeit gelegten Ebenen ausgeübt wird, so ist, wie wir sogleich sehen werden, dieser Druck nach allen Richtungen hin immer noch gleich gross, vorausgesetzt, dass alle diese Flächen einander gleich und sehr klein sind.

Fig. 5.



Denkt man sich nämlich den Punkt A, Fig. 5, in einer geringen Entfernung von einer rings geschlossenen Wand umgeben, so kann man ohne das Gleichgewicht zu stören oder in dem Verhältnisse des Punktes A zu seiner nächsten Umgebung das Geringste zu ändern, annehmen, dass der Theil ausserhalb dieser Wand fest sei. In diesem Falle hat man im Innern des kleinen

Gefässes nur eine ganz geringe Menge von Flüssigkeit, die aber immer noch auf alle Punkte der Wand einen Druck ausüben wird. Diese einzelnen, aus der Wirkung der Schwere sich ergebenden Druckkräfte sind zwar noch ungleich, aber der Unterschied in ihrer Grösse, die wegen des ganz unbedeutenden Gewichtes der Flüssigkeit an und für sich schon gering ist, muss um so kleiner werden, je kleiner die Oberfläche der Wand ist, welche die Flüssigkeit um A absperrt. Nimmt man daher an, dass die Ausdehnung der kleinen den Punkt A umgränzenden Oberfläche unendlich klein sei, so wird ein Unterschied in dem Drucke, den die Flüssigkeit auf die einzelnen Punkte dieser Oberfläche ausübt, gar nicht mehr wahrnehmbar sein und jeder Punkt einen Druck von derselben Stärke erhalten, als wenn die Flüssigkeit gewichtlos wäre. Unter der Voraussetzung also, dass man durch den Punkt A im Innern der Flüssigkeit nach beliebigen Richtungen Ebenen von unendlich kleiner Ausdehnung legt, gilt auch für den Fall, dass die Flüssigkeit schwer ist, noch das vorhin gewonnene Resultat, dass der Druck um den Punkt A herum nach allen Richtungen gleich ist.

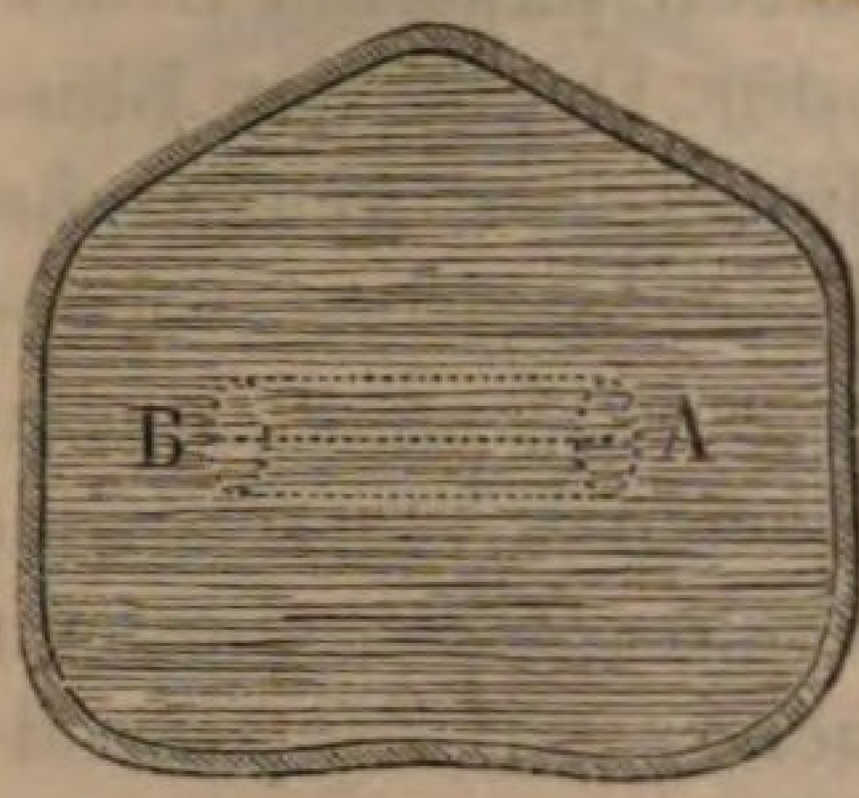
Im Allgemeinen ist der Druck auf die Einheit der Fläche für alle durch den Punkt A gelegten Ebenen nicht gleich gross, es sei denn, dass diese Einheit selbst äusserst klein angenommen werde. Um einen solchen veränderlichen Druck auf ein bestimmtes Maass zurückzuführen und darnach angeben zu können, wie gross er auf jede bestimmte durch A gehende Flächeneinheit, z. B. einen Quadratzoll ist, denkt man sich jeden unendlich kleinen Theil dieser Flächeneinheit gerade so stark gedrückt, wie der Punkt A wirklich gedrückt wird, so dass die Flächeneinheit auf ihrer ganzen Ausdehnung denselben Druck erleidet, wie der Punkt A. Bei einer solchen Vorstellung ist der Gesammtdruck gegen die Flächeneinheit für die verschiedenen Lagen der Flächen nicht mehr verschieden und diesen Gesammtdruck gegen die Einheit der Fläche nimmt man dann als den in A selbst herrschenden Druck an.

6 Untersuchen wir nun, wie sich der Druck im Innern einer im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit von einem Punkte zum anderen ändert.

Wir nehmen zuerst zwei Punkte A, B, Fig. 6, die in einer gemeinschaftlichen wagerechten Ebene liegen, und denken uns um beide zwei gleich grosse und sehr kleine Kreise beschrieben, deren Ebenen zu der Verbindungslinie AB senkrecht stehen.

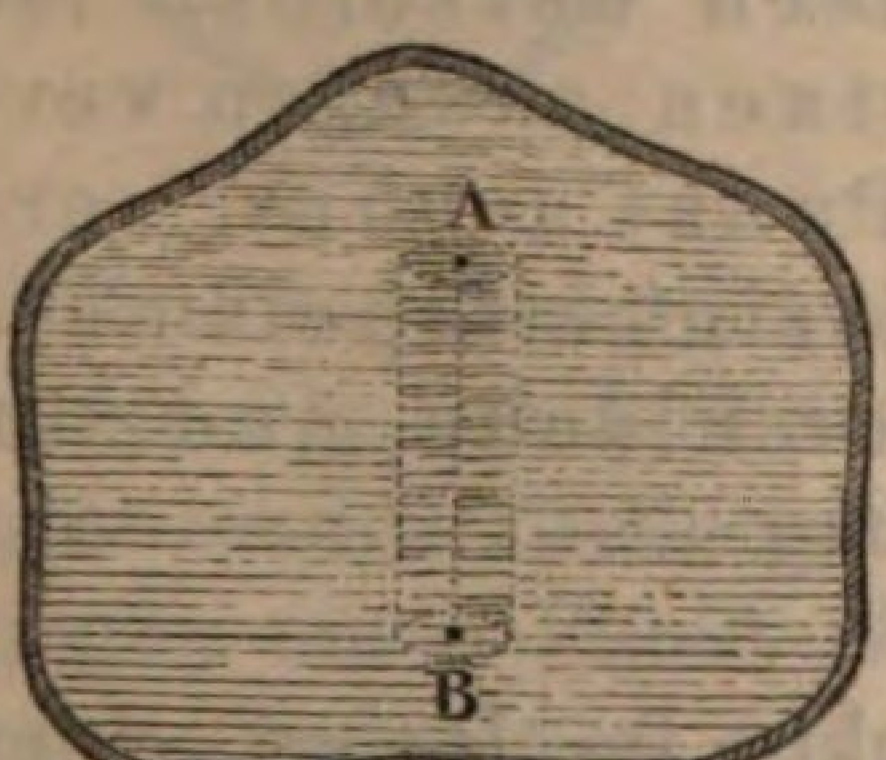
Diese beiden Kreise denken wir uns zugleich als die Grundflächen eines Cylinders, dessen Achse AB ist. Stellen wir uns nun vor, dass alle Flüssigkeit ausserhalb dieses Cylinders fest geworden sei, so haben wir es nur noch mit der diesen Cylinder selbst bildenden Flüssigkeit zu thun. Nun ist aber klar, dass der von dieser Flüssigkeit gegen die beiden gleichen Kreisflächen ausgeübte Druck gleich ist, gerade so, als ob die Flüssigkeit gewichtlos wäre, da die aus der Schwerkraft hervorgehenden Kräfte in verticaler Richtung auf die Moleküle der Flüssigkeit wirken und daher kein Bestreben haben, die Flüssigkeit gegen den einen Kreis mehr hinzudrängen, als gegen den andern. Es musste also auch anfangs, als der Flüssigkeitstheil ausserhalb des Cylinders noch nicht als fest angenommen worden war, gegen den Kreis A, wie gegen den Kreis B ein gleicher Druck vorhanden sein, woraus folgt, dass der Druck in beiden Punkten A und B überhaupt derselbe ist. Wir schliessen hieraus, dass *in einer schweren, im Gleichgewichte befindlichen Flüssigkeit der Druck für alle in derselben horizontalen Ebene liegenden Punkte gleich gross ist.*

Fig. 6.



Nehmen wir dagegen zwei Punkte A, B, Fig. 7, die in einer 7
und derselben Verticallinie liegen, so können wir uns ebenfalls wieder um beide Punkte zwei gleiche auf der Verbindungslinie AB senkrecht stehende und daher wagerecht liegende kleine Kreise gezogen denken, und dieselben als die Grundflächen eines Cylinders betrachten, dessen Achse AB ist. Stellen wir uns nun alle den Cylinder umgebende Flüssigkeit als fest vor, so ist ohne Weiteres klar, dass die Flüssigkeit im Innern des Cylinders gegen die beiden Grundflächen A, B nicht mehr einen gleichen Druck ausüben kann. Wenn die obere Grundfläche von der Flüssigkeit nicht gedrückt wird, so kann sie auch umgekehrt keinen Gegendruck auf die Flüssigkeit ausüben, und die untere Grundfläche hat nur den Druck des Gewichtes der darüber stehenden Flüssigkeit auszuhalten. Wenn dagegen die obere Grundfläche von der Flüssigkeit noch einen

Fig. 7.



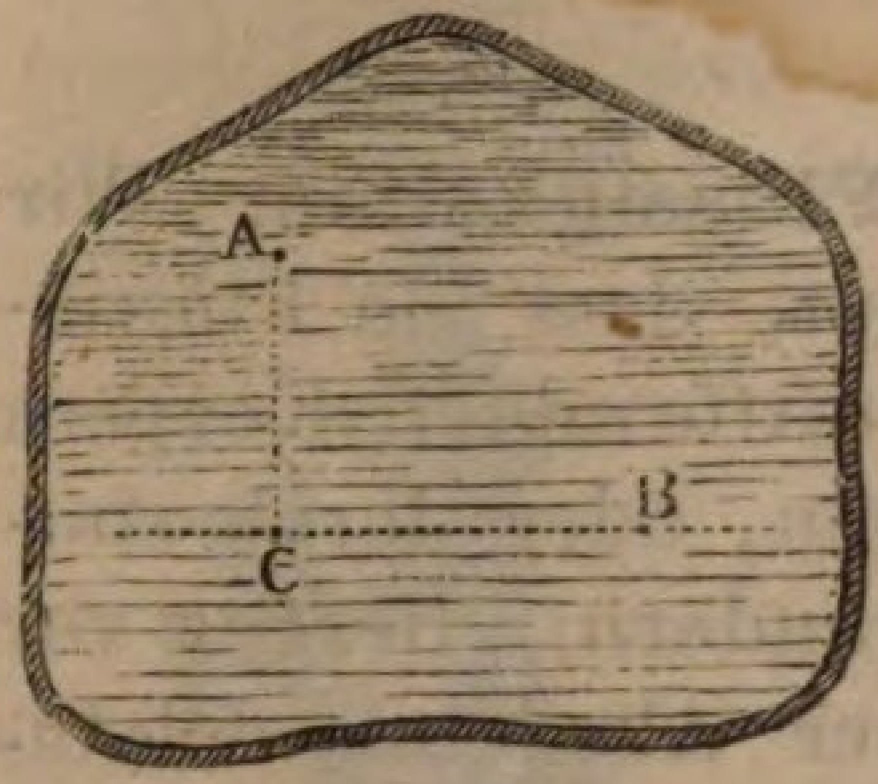
Druck erhält, so übt sie einen eben so grossen Gegendruck aus; dieser letztere Druck pflanzt sich aber ungeschwächt durch die Flüssigkeit auf die untere Grundfläche fort, so dass diese ausser dem Gewichte der Flüssigkeit auch noch diesen letzteren Druck auszuhalten hat. In allen Fällen ist daher der Druck der Flüssigkeit gegen die untere Grundfläche grösser, als gegen die obere und zwar um so viel, als das Gewicht der darüber stehenden Flüssigkeitssäule beträgt.

Die Annahme, dass die Umgebung des kleinen Wassercylinders *AB* fest sei, hat aber auf die vorstehenden Anschauungen keinen Einfluss, und das bezüglich des Druckes auf die Grundflächen *A*, *B* Gesagte findet auch noch statt, wenn die Umgebung des Flüssigkeits-Cylinders nicht fest, sondern ebenfalls flüssig ist. Statt der kleinen Kreise *A* und *B* hätte man auch zwei kleine durchaus gleiche Vielecke nehmen können; man hätte dann statt des dünnen Cylinders ein feines Prisma erhalten. Hieraus folgt, dass in einer schweren Flüssigkeit der Unterschied des Druckes gegen zwei gleich grosse Flächen, die durch zwei in einer und derselben Verticallinie liegende Punkte angenommen sind, gleich ist dem Gewichte eines Flüssigkeitsprismas, welches zur Basis eine der beiden gedrückten Flächen, und zur Höhe den Abstand der beiden Punkte hat, durch welche diese Flächen gelegt sind. Mit Rücksicht auf das, was wir unter dem Druck auf einen Punkt im Innern einer Flüssigkeit verstehen (nämlich den auf die Einheit der Fläche bezogenen Druck, §§. 5 und 6), können wir das vorstehende Princip auch so ausdrücken: Der Druck einer schweren Flüssigkeit gegen einen Punkt im Innern derselben ist gleich dem Drucke, den sie gegen einen anderen vertical über dem ersteren gelegenen Punkt ausübt, vermehrt um das Gewicht eines Flüssigkeitsprismas, welches zur Basis hat die Einheit der Fläche, und zur Höhe den Abstand der beiden Punkte.

8 Es seien endlich *A* und *B* zwei Punkte im Innern einer schweren Flüssigkeit, Fig. 8, die weder in derselben horizontalen, noch in derselben verticalen Linie liegen. Zur Vergleichung des Druckes, der auf jeden der beiden Punkte stattfindet, nehmen wir einen dritten Punkt *C* so an, dass er mit *A* in einer und derselben verticalen, und mit *B* in einer und derselben horizontalen Ebene liegt. Der Druck in den beiden Punkten *B* und *C* ist gleich gross (§. 6); der Druck in *C* aber

ist grösser, als der in A, und zwar um das Gewicht des Flüssigkeitsprismas, welches zur Basis hat die Einheit der Fläche und zur Höhe die Linie AC oder den Niveauunterschied der beiden Punkte A und B. Wir erhalten also hiernach den Satz:

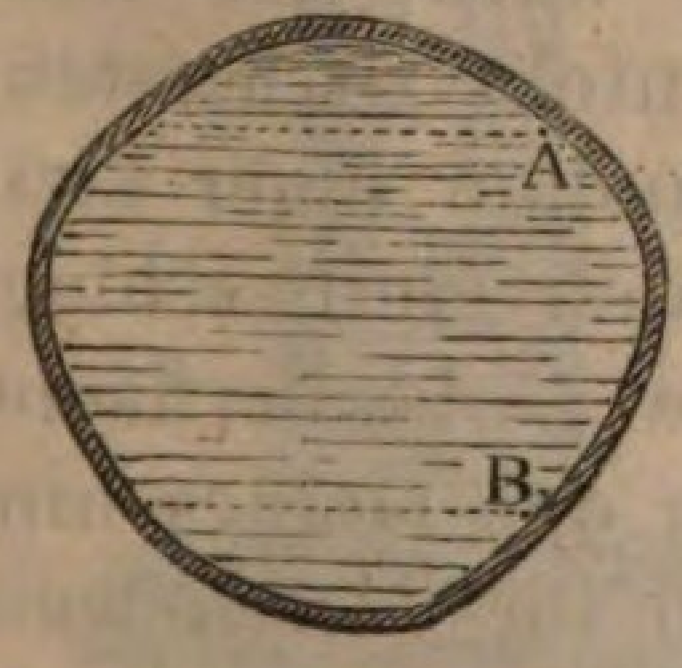
Fig. 8.



Der Druck einer schweren Flüssigkeit auf einen Punkt im Innern derselben ist gleich dem Drucke, den sie auf irgend einen anderen höher gelegenen Punkt ausübt, vermehrt um das Gewicht eines Flüssigkeitsprismas, welches zur Basis hat die Einheit der Fläche, und zur Höhe den Niveauunterschied dieser beiden Punkte.

Druck gegen einen Punkt der Wand. Der Druck, den 9
eine schwere Flüssigkeit auf die einzelnen Punkte der Gefässwand ausübt, lässt sich aus dem Drucke, den sie auf die Punkte im Innern ausübt, leicht ableiten. Da der Druck für die verschiedenen Punkte derselben horizontalen Ebene gleich gross ist, so erleidet auch ein kleiner Theil der Gefässwand bei A, Fig. 9, einen eben so grossen Druck, als ein gleich grosser Theil der durch A gelegten horizontalen Ebene. Der Druck auf die Einheit der Fläche für den Punkt A der Gefässwand, oder kurz der Druck in A ist daher eben so gross, als für irgend einen anderen Punkt desselben Niveaus. Unter dem Drucke gegen die Einheit der Fläche in A versteht man hier den Druck, den eine ebene, in der Richtung der Gefässwand bei A befindliche Flächeneinheit auf ihrer ganzen Ausdehnung erleiden würde, wenn alle ihre Punkte ebenso, wie die den Punkt A unmittelbar begränzenden Theile gedrückt würden. Gleicherweise ist der Druck gegen einen Punkt B der Gefässwand ebenso gross, als gegen einen beliebigen anderen Punkt der Flüssigkeit, der mit B in demselben Niveau liegt. Hiernach ist also der Druck einer schweren Flüssigkeit gegen einen Punkt der Gefässwand gleich dem Drucke, den sie auf einen anderen höher gelegenen Punkt der Wand ausübt, vermehrt um das Gewicht eines Flüssigkeitsprismas, welches zur Basis hat die Einheit der Fläche und zur Höhe den Niveauunterschied dieser beiden Punkte.

Fig. 9.



Es ist klar, dass der Druck der Flüssigkeit auf zwei in einer einzigen horizontalen Ebene gelegenen Punkte gleich gross ist.

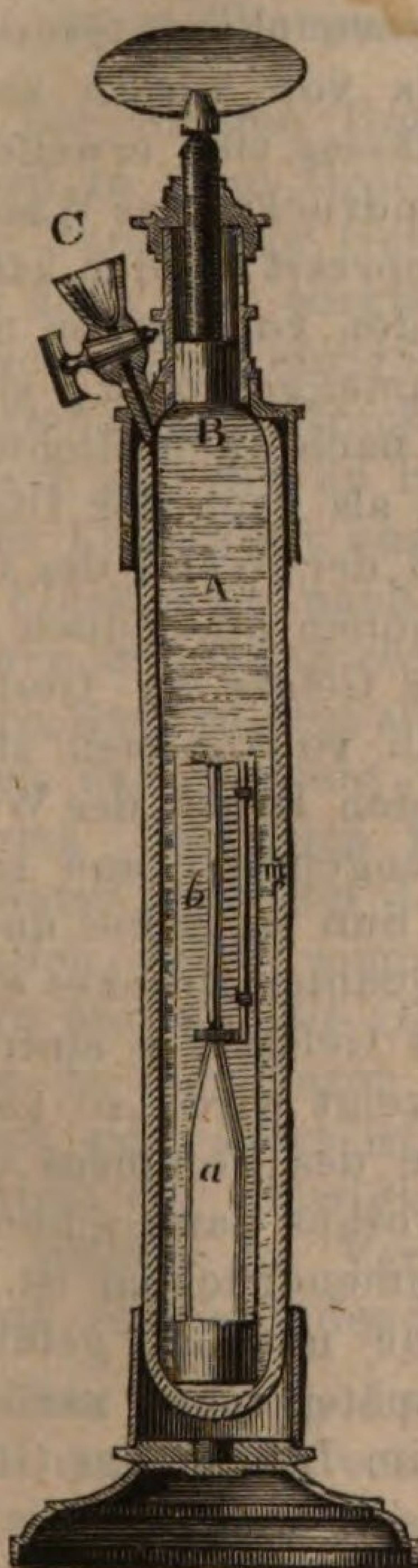
10 **Die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten.** Wir haben bereits oben vorübergehend erwähnt, dass die Flüssigkeiten im Gegensatze zu den festen und luftförmigen Körpern sich fast gar nicht zusammendrücken lassen, oder durch starken Druck ihr Volumen fast gar nicht verändern. Bereits vor 200 Jahren beschäftigte sich die Florentiner Akademie del Cimento mit der Frage, ob Flüssigkeiten überhaupt compressibel sind oder nicht. Zu diesem Zwecke nahm man eine starke Kugel von Gold, weil dieses Metall unter den damals bekannten Stoffen am dichtesten war, füllte sie ganz mit Wasser, verschloss sie sorgfältig und übte an irgend einer Stelle der Goldhülle einen so starken Druck aus, dass sich die Kugelform ein wenig veränderte. Nun lehrt aber die Geometrie von der Kugel, dass irgend eine Veränderung in der äusseren Form, so lange die Oberfläche ihre Grösse nicht ändert, nothwendig eine Verkleinerung des Volumens oder des Inhaltes zur Folge haben muss. Die Zusammendrückbarkeit des Wassers müsste sich also durch diesen Versuch unzweifelhaft nachweisen lassen, wenn die Kugel dicht genug wäre, um kein Wasser durchzulassen, und stark genug, um nicht zu bersten. Das Resultat des Versuches selbst war aber, neben einer kleinen Formveränderung der Kugelgestalt, dass sich ein Beschlag, ein feiner Hauch von Wasser um die polirte Goldoberfläche legte und also das Wasser durch die Poren des Goldes hindurchgepresst wurde. Der Versuch war also für den Beweis der Zusammendrückbarkeit des Wassers nicht entscheidend; er bewies nur, dass das Gold, trotz seiner grossen Dichtigkeit, dennoch Poren hat, und dass diese Poren immer noch grösser sind, als die kleinsten Wassertheilchen, weil diese durch jene hindurchgedrungen waren.

Spätere Untersuchungen, namentlich die des Professors Oerstedt zu Copenhagen, gingen von dem Gedanken aus, die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten in einem Gefässe zu versuchen, in welchem ein jeder Punkt der Wand einen gleichen Druck von aussen nach innen, als von innen nach aussen zu erleiden hat. Diese Vorrichtung, welche Sympiëzometer genannt wird, bestand aus Folgendem:

Ein Glasgefäss *a*, Fig. 10, mit weitem Bauche, endigt in

einen sehr dünnen Hals *b*. Nachdem man es mit Wasser angefüllt hat, legt man oben auf die enge Oeffnung des Halses ein Tröpfchen Quecksilber, welches dazu dient, das Ende des Flüssigkeitsfadens im Halse anzuzeigen; man stellt dann das Ganze in einen weiteren Cylinder *A* von sehr starkem Glase und füllt den Rest desselben durch einen in der oberen Messingfassung angebrachten Trichter ganz mit Wasser an. In dem Messingkopfe *C* befindet sich eine Schraubenmutter, in welcher sich eine auf den Kolben *B* wirkende Schraubenspindel auf und ab bewegen lässt. Das Ende der Schraubenspindel ist mit dem Kolben *B* nicht fest verbunden, so dass sich letzterer bei der Drehung der Schraube nicht mitdreht, sondern je nach der Richtung der Drehung bloss herauf- oder herabgeht. Dreht man nun die Schraube so, dass der Kolben heruntergeht, so übt er auf das Wasser im Gefässe *A* einen Druck aus, der sich nach dem Vorigen durch die ganze Flüssigkeit fortpflanzt und sich auch auf die in dem kleineren Glase *a* enthaltene Flüssigkeit verbreitet. Je mehr man nun die Schraube dreht und dadurch den Druck des Kolbens *B* auf das Wasser *A* vermehrt, desto tiefer sieht man das Quecksilbertröpfchen in Form eines Fadens *b* in dem engen Halse des Glasgefässes heruntersteigen, zum deutlichen Beweise, dass sich der Wasserfaden in diesem Gefässe verkürzt habe. Wenn sich nun die Wände des inneren Glases *a* in Folge des ausgeübten Druckes haben erweitern können, so ist dadurch der Inhalt des Gefässes grösser geworden, und es darf dann aus der Verkürzung des Wasserfadens im Halse dieses Gefässes noch nicht auf eine Abnahme des Volumens des Wassers, folglich auch nicht auf eine eingetretene Verdichtung desselben geschlossen werden. Ersteres findet aber keineswegs statt, denn da der Druck sich nach allen Richtungen hin gleichmässig fortpflanzt, so wirkt er sowohl auf jeden Punkt der äusseren Oberfläche des Gefässes *a*,

Fig. 10.



als auch durch den Hals des Gefässes in gleicher Stärke auf den gegenüberliegenden Punkt der inneren Gefässwand.

Es ist klar, dass bei einer solchen Anordnung ein jeder Theil der Wand des kleinen Gefässes *a* einen ebenso grossen Druck erhält von innen nach aussen als von aussen nach innen, so dass weder die Wände dieses Gefässes sich erweitern können, noch auch wegen des äusseren Gegendruckes das Wasser desselben durch die etwaigen Poren hinausgepresst werden kann. Zwar werden die Glaswände selbst durch den von beiden Seiten kommenden Druck ein wenig zusammengedrückt, aber diese Zusammendrückung findet ebenfalls nach allen Richtungen, sowohl nach der Höhe und der Breite, als nach der Dicke statt. In Folge hiervon nimmt jeder Theil der Wand des Gefässes *a* und des Halses *b* kleinere Dimensionen an, jedoch so, dass das unter dem Wasserdruck stehende Gefäss an Gestalt dem nicht gepressten Gefässe immer noch vollkommen ähnlich bleibt. Es ist daher klar, dass durch den Druck des Wassers das ganze Gefäss *ab* etwas zusammengepresst und sein Rauminhalt etwas verkleinert wird. Wenn nun trotzdem unter der Einwirkung des von dem Kolben *B* ausgeübten Druckes eine Verkürzung des Wasserfadens im Halse des Gefässes *a* eintritt, wie es durch den Quecksilber-Index angezeigt wird, so kann dieses nur von einer wirklichen Abnahme des Volumens der eingeschlossenen Flüssigkeit herrühren, woraus dann schliesslich folgt, dass die Flüssigkeit selbst zusammendrückbar ist.

Zur Seite des Glasgefässes *a* ist eine mit Luft gefüllte Glasröhre *m* angebracht, welche, wie wir später sehen werden, dazu dient, den jedesmaligen Druck, der im Innern des Glascylinders *A* herrscht, anzuzeigen.

Sorgfältige und wiederholt angestellte Messungen haben gezeigt, dass diese Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten allgemein äusserst gering ist, dass z. B. das Wasser bei dem enormen Druck von 100 Atmosphären (1 Atmosphäre gleich 14 Pfund auf jeden Quadratzoll) sich nur um den 200sten Theil seines anfänglichen Volumens zusammenpressen lässt, so dass z. B. das Volumen von 200 Quart Wasser, wenn es dem genannten starken Druck ausgesetzt wird, nur um 1 Quart abnimmt. Quecksilber ist noch weniger zusammendrückbar als Wasser; unter demselben Druck von 100 Atmosphären vermindert sich sein Volumen nur um 0,0000035 oder nahe $^1/_{2857000}$ desselben. Bei einer so geringen Zusammendrückbarkeit nimmt man bei allen theoretischen und praktischen Untersuchungen über die Flüssig-

keiten an, dass sie gar nicht zusammendrückbar sind. Bei aufhörendem Druck nehmen übrigens die zusammengepressten Flüssigkeiten ihr früheres Volumen vollständig wieder ein, sie sind also vollkommen elastisch.

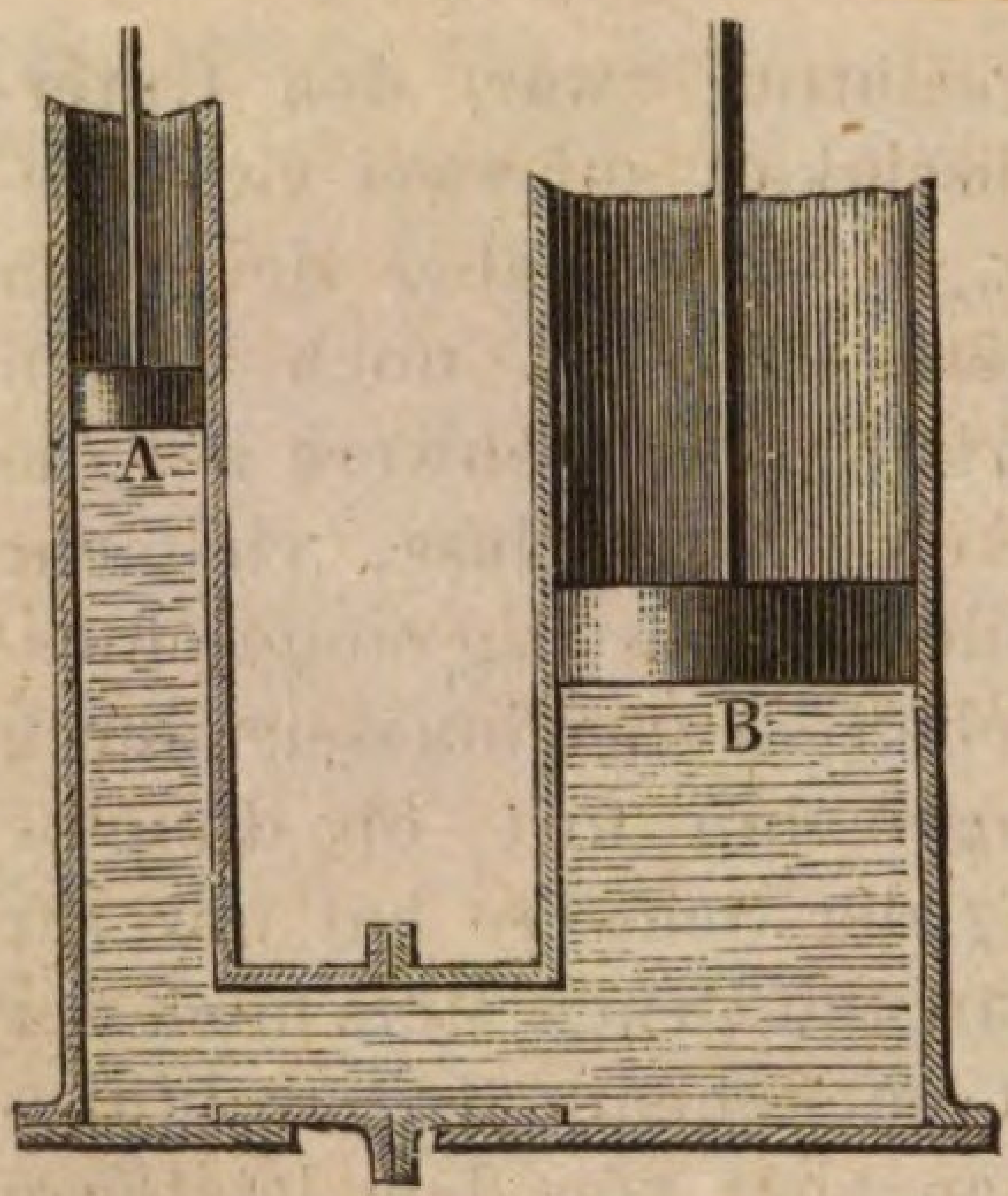
Die vorigen Untersuchungen gestatten zwar, den Unterschied in dem Druck, den eine Flüssigkeit auf zwei verschiedene Punkte der Gefässwand ausübt, zu finden, aber sie geben uns über die wirkliche Grösse dieses Druckes noch keinen Aufschluss. Uebrigens hat die Wirkung der Schwere auf die gleichmässige Druckfortpflanzung keinen Einfluss, vielmehr pflanzt sich der an irgend einer Stelle der allseitig eingeschlossenen Flüssigkeit ausgeübte Druck eben so gleichmässig durch die Flüssigkeit nach allen Richtungen hin fort, ob dieselbe schwer ist oder nicht. Die Wirkung der Schwere hat nur zur Folge, dass zu dem allseitig fortgepflanzten Druck stets noch der durch das Gewicht der Flüssigkeit entstehende Druck hinzukommt. In vielen Fällen kann man aber von dem letzteren Einflusse oder von dem Gewichte der Flüssigkeit ganz absehen, nämlich dann, wenn der andere Druck, der auf dieselbe ausgeübt und auf die Gefässwände fortgepflanzt wird, im Verhältnisse zu dem durch das Gewicht der Flüssigkeit verursachten Druck sehr gross ist. Wenn man in einem solchen Falle das Gewicht der Flüssigkeit vernachlässigt, begeht man einen Fehler, welcher im Verhältnisse zu dem wirklich stattfindenden Druck verschwindend klein ist. 11

Das Princip der hydraulischen Presse. Um die Tragweite der in den vorigen Paragraphen besprochenen, den Flüssigkeiten allgemein zukommenden Eigenschaft, den einseitig empfangenen Druck allseitig ungeschwächt fortzupflanzen, schon jetzt in ihrem ganzen Umfang würdigen zu können, wählen wir die Anwendung derselben auf die hydraulische Presse, auf deren specielle Beschreibung wir jedoch erst später eingehen können, wenn vorab von den Pumpen weitläufiger wird die Rede gewesen sein. 12

Die Fig. 11 (a. f. S.) stelle den verticalen Durchschnitt zweier mit einander verbundener cylinderförmiger Gefässe A und B dar, von denen das eine B einen zehnmal grösseren Querschnitt haben mag, als das andere A. Füllt man einen Theil dieser Cylinder mit Wasser und setzt in jeden derselben einen Kolben ein, der wasserdicht an den Wänden anschliesst, so wird, wenn man auf den Kolben A einen Druck ausübt, dieser Druck

sich durch die Flüssigkeit bis auf den Kolben *B* fortpflanzen und hier einen um so grösseren Druck ausüben, je grösser der Querschnitt des Kolbens *B* im Vergleich zu dem des Kolbens *A* ist. Wenn, wie wir angenommen haben, ersterer 10mal so gross ist, als letzterer, und *A* mit einem Druck von 50 Pfund von oben nach unten gedrückt wird, so erhält der Kolben *B* einen Druck von 10mal 50 Pfund oder von 500 Pfund in der Richtung von unten nach oben, wobei das Gewicht des Wassers selbst vernachlässigt wird. Wäre dagegen der Querschnitt des Kolbens *B* 150mal so gross, als der Querschnitt von *A*, und drückte man den Kolben *A* mit einer Kraft von 100 Pfund herab, so würde der Kolben *B* aufwärts einen Druck von 150 × 100 = 15000 Pfund ausüben.

Fig. 11.



Mit einem geringen Druck kann man also durch zweckmässige Anwendung des vorstehenden Princips einen sehr bedeutenden Druck ausüben, und es wird daher diese Eigenschaft der Flüssigkeiten gegenwärtig ohne Ausnahme da angewandt, wo aussergewöhnlich starke Pressungen erforderlich sind.

Wenn der Kolben *B* durch den Druck der Flüssigkeit gehoben werden soll, muss der Kolben *A* herabgehen, aber diese beiden Kolben bewegen sich nicht mit gleicher Geschwindigkeit. Drückt man den Kolben *A* um 1 Zoll herunter, so wird dadurch der Kolben *B* keineswegs auch um 1 Zoll gehoben, sondern um so vielmal weniger, als sein Querschnitt grösser ist im Vergleich zu dem Querschnitt von *A*. Wenn letzterer 10mal kleiner ist, so wird der Kolben *B* auch nur um $1/_{10}$ Zoll gehoben, nämlich nur um so viel, dass das von *A* verdrängte Wasser unter *B* Platz findet; da nun die Fläche *B* 10mal so gross ist als *A*, so nimmt das von *A* verdrängte Wasser unter der 10mal grösseren Fläche nur $1/_{10}$ der Höhe ein. Ist der Querschnitt des Kolbens *B* 100mal so gross, als der Querschnitt von *A*, so steigt letzterer nur um $1/_{100}$ des Weges, um welchen *A* herabgedrückt wird. Auf der anderen Seite aber haben wir gesehen, dass in dem letzteren Falle der von dem Kolben *B* ausgeübte Druck 100mal so gross ist, als der Druck des Kolbens *A*, so dass also auch hier wieder, wie bei dem Hebel und den

übrigen mechanischen Potenzen, die Regel gilt, „was an Kraft gewonnen wird, das geht an Geschwindigkeit verloren.“

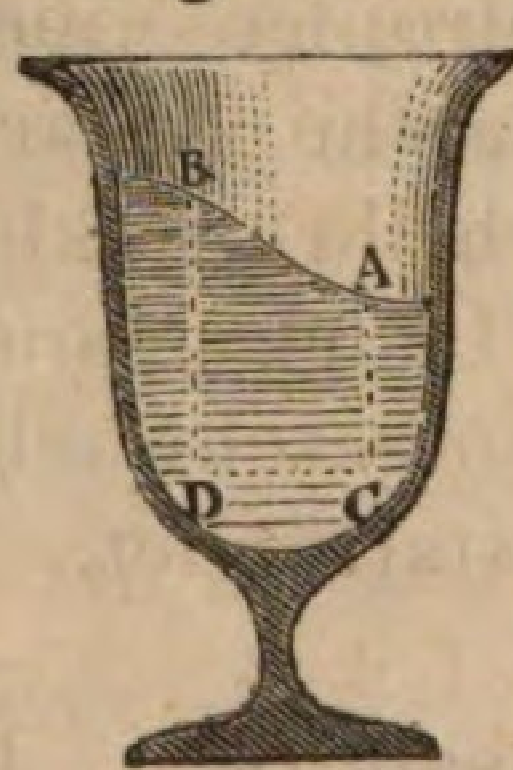
Wir führen noch ein anderes Beispiel an, welches lehrt, wie ein kleiner Druck in Folge der Vergrösserung der Druckfläche einen sehr bedeutenden Druck hervorbringen kann. Führt man auf den wasserdicht an den Rändern des Spundloches anschliessenden Spund eines ganz mit Flüssigkeit gefüllten Fasses, dessen kreisförmiger Boden 300 Quadratzoll gross ist, einen Schlag von 25 Pfund, und beträgt der unterste auf der Flüssigkeit stehende Querschnitt des Spundes 3 Quadratzoll, so pflanzt sich die Stärke des Schlages durch die ganze Flüssigkeit hindurch bis zum Boden fort und jede 3 Quadratzoll grosse Stelle desselben erleidet einen Druck von 25 Pfund. Der ganze 300 Quadratzoll grosse Boden des Fasses erhält also plötzlich von innen nach aussen einen Druck von $100 \times 25 = 2500$ Pfund, der unter Umständen stark genug sein kann, um den Boden des Fasses auszusprengen. Die bekannte Erscheinung, dass es nur eines unbedeutenden Schlages auf den Korkpfropfen einer vollständig mit Flüssigkeit gefüllten gläsernen Flasche bedarf, um dieselbe zu sprengen, findet ebenfalls hierdurch ihre Erklärung. Der plötzlich auf die Flüssigkeit ausgeübte Druck pflanzt sich fast momentan auf jeden Theil der Seitenwand ungeschwächt fort, während ein Gegendruck von aussen nicht stattfindet.

Die freie Oberfläche einer schweren Flüssigkeit. In 13
unseren bisherigen Untersuchungen nahmen wir an, dass die schwere Flüssigkeit von den Gefässwänden von allen Seiten vollständig begränzt und eingeschlossen sei. Ist dieses nicht der Fall, sei es, dass die Flüssigkeit das rings geschlossene Gefäss nicht vollständig ausfüllt, oder dass das Gefäss selbst oben offen ist, so ist die Flüssigkeit nicht allseitig mit den Gefässwänden in Berührung; nach dem Gesetze der Schwere füllt sie die tieferen Stellen des Gefässes aus, während sie an der oberen Stelle eine freie Oberfläche bildet, mit der wir uns nun näher beschäftigen wollen.

Wenn auf die Flüssigkeitstheilchen ausser den stets vorhandenen Molekularkräften nur die Schwere wirkt und kein anderer Druck auf die freie Oberfläche ausgeübt wird, so muss diese Oberfläche eine wagerechte Ebene sein. Um dieses nachzuweisen, bemerken wir zunächst, dass Alles, was in den früheren Paragraphen über den Druck der Flüssigkeiten, wenn sie

von Wänden ganz eingeschlossen sind, gesagt worden ist, auch noch gilt, wenn sie eine freie Oberfläche haben. Wir können uns nämlich in allen Fällen denken, dass das Gefäss an der freien Oberfläche ebenfalls geschlossen und die Oberfläche in allen ihren Punkten mit einer nicht drückenden Wand gedeckt sei; die Hinzufügung dieser Wandfläche hat dann weder auf die Gestalt der Oberfläche, noch auf den Druck und das übrige Verhalten der darunter befindlichen Flüssigkeit irgend einen Einfluss. Unter dieser Vorstellung ist es leicht nachzuweisen, dass im Zustande des Gleichgewichtes die freie Oberfläche der Flüssigkeit eine horizontale Ebene sein muss. Denn gesetzt, es sei dieses nicht der Fall, so nehmen wir zwei Punkte A und B, Fig. 12, in dieser Oberfläche an, welche nicht dieselbe Höhe haben. Ziehen wir durch diese Punkte zwei verticale Linien AC, BD und begränzen sie durch eine gemeinschaftliche horizontale Linie CD, so kann der Druck in den beiden Punkten C und D nicht gleich gross sein, weil der Druck in A und B Null und der Druck in C und D beziehlich gleich den Gewichten der Flüssigkeitsprismas ist, welche beide die Einheit der Fläche zur Basis haben, von denen aber das eine die Linie AC, das andere BD zur Höhe hat. Nach §. 6 muss aber für den Zustand des Gleichgewichtes der Druck in den beiden in einer einzigen horizontalen Linie CD liegenden Punkte C und D gleich sein; also kann, wenn A und B nicht in gleicher Höhe über CD liegen, das Gleichgewicht der Flüssigkeit nicht vorhanden sein; umgekehrt müssen also diese wie alle anderen Punkte der freien Oberfläche im Gleichgewichtszustande gleich hoch über CD liegen, das heisst, die Oberfläche selbst bildet eine wagerechte Ebene.

Fig. 12.



14 Eine andere Betrachtung führt zu demselben Ziele. Wäre die freie Oberfläche einer Flüssigkeit nicht eine wagerechte Ebene und hätte sie eine hiervon abweichende Gestalt, wie in Fig. 13, so müsste irgend ein Theilchen derselben, z. B. A, sich nothwendig auf der schiefen Ebene bewegen. Auf dieses Theilchen wirken nämlich die Schwerkraft in der verticalen Richtung AB und die Molekularkräfte der benachbarten Theilchen. Die letzteren wirken aber nur in äusserst kleinen Entfernungen, so dass nur diejenigen Theilchen auf den Punkt A einwirken, welche in seiner unmittelbarsten Nähe sind. Man

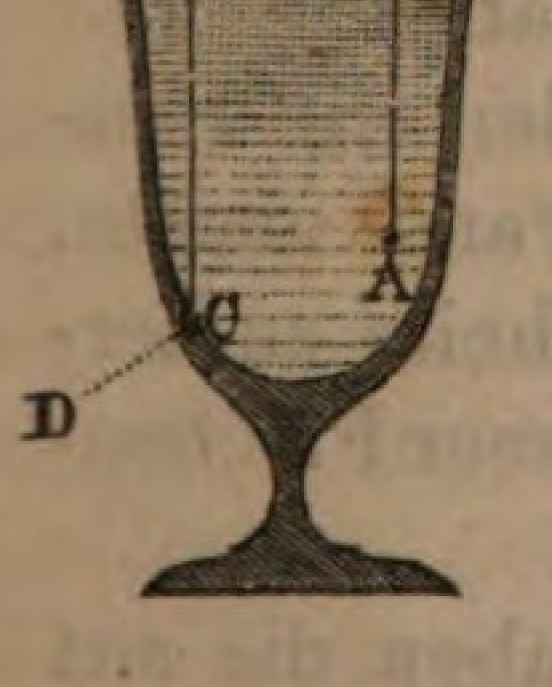
kann daher annehmen, dass das Flüssigkeitstheilchen A, soweit es von den Molekularkräften der benachbarten Theilchen afficirt wird, eine sehr kleine Ebene bildet. Da ferner die auf A wirkenden Molekularkräfte symmetrisch um die durch A gehende, zu der kleinen Ebene senkrecht gezogene Linie AC vertheilt sind, so geht die Resultirende aus allen diesen Kräften ebenfalls durch diese Senkrechte AC. Die in der verticalen Richtung AB wirkende Schwerkraft lässt sich nun in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine in der Richtung AC senkrecht zu der kleinen Ebene A, die andere aber parallel hierzu, das heisst, in der Richtung der durch A an die krumme Oberfläche gelegten Tangente wirkt. Die erste Seitenkraft AC kann durch die in derselben Richtung wirkende Resultirende der Molekularkräfte aufgehoben werden, die zweite Seitenkraft aber gelangt unter allen Umständen zur Wirkung und treibt das Theilchen A bei der geringen Verschiebbarkeit der Flüssigkeits-Moleküle auf der schiefen Ebene A herab. Das Gleichgewicht der Flüssigkeit kann also nicht eher bestehen, bis die ganze freie Oberfläche eine wagerechte Ebene geworden ist.

Fig. 13.



Der Druck der Flüssigkeiten in Gewichtstheilen. Wenn 15
die freie Oberfläche einer im Gleichgewicht befindlichen schweren Flüssigkeit in keinem Punkte einen Druck erleidet, so ist es leicht, die Grösse des Druckes zu bestimmen, der in irgend einem Punkte der Flüssigkeit selbst oder der umgebenden Gefässwand stattfindet. Um den Druck für den Punkt A, Fig. 14, zu bestimmen, beachte man, dass der Druck in dem vertical darüber gelegenen Punkte B der freien Oberfläche Null ist; der Druck in A ist daher nach §. 7 gleich dem Gewichte eines Flüssigkeitsprismas, welches zur Basis die Einheit der Fläche und zur Höhe die Linie AB hat. Ebenso ist der in dem Punkte C gegen die Gefässwand ausgeübte Druck, dessen Richtung CD senkrecht zu der Wandstelle C ist, gleich dem Gewichte eines Flüssigkeitsprismas, welches die Einheit der Fläche zur Basis und den verticalen Abstand CE des Punktes C von dem Spiegel der Flüssigkeit zur Höhe hat.

Fig. 14.



Um den wirklichen Druck der Flüssigkeiten in Gewichtstheilen angeben zu können, muss man vorab das Gewicht der Cubikeinheit dieser Flüssigkeiten kennen. Wir nehmen hierfür 1 preuss. Cubikzoll an; 1 Cubikzoll Wasser wiegt aber nahe 1 Loth 7 Cent 2 Korn (preuss. Gewicht) oder sehr nahe 1,0718 Loth; 1 Cubikfuss Wasser wiegt nahe 61,73785 Pfund. Wenn es also nicht auf grosse Genauigkeit ankommt, kann man das Gewicht von 1 Cubikzoll Wasser zu 1 Loth, das Gewicht von 1 Cubikfuss Wasser zu $61^3/_4$ Pfund annehmen.

Da man sich der grossen Einfachheit wegen in den mechanischen Rechnungen nicht selten des französischen Gewichtes bedient, so führen wir noch an, dass das Gewicht von 1 Cubikcentimeter Wasser 1 Gramm ist. Nimmt man daher als Einheit der Fläche 1 Quadratcentimeter an, so erhält man für den Druck des Wassers auf den Punkt A, Fig. 14, ebenso viele Gramm, als die Höhe AB Centimeter hat.

Enthält das Gefäss eine andere Flüssigkeit, als Wasser, so muss man, um den Druck, den sie ausübt, bestimmen zu können, zunächst wissen, wie vielmal so schwer diese Flüssigkeit ist, als ein gleiches Volumen Wasser. Die Zahlen, welche dieses für jede einzelne Flüssigkeit angeben und die man das specifische Gewicht der Flüssigkeit nennt, findet man in den physikalischen Lehrbüchern; so ist das specifische Gewicht des Quecksilbers 13,5, das heisst, das Quecksilber ist 13,5mal so schwer, als ein gleiches Volumen Wasser, woraus folgt, dass 1 Cubikzoll Quecksilber $13{,}5 \times 1{,}0718 = 14{,}4693$ Loth wiegt.

16 **Der Druck gegen die Seitenwand.** Aus dem Vorhergehenden folgt, dass man, um den Druck einer Flüssigkeit gegen einen sehr kleinen Theil der Wand zu bestimmen, nur das Gewicht eines Flüssigkeitsprismas zu berechnen hat, welches dieses Flächenelement zur Basis und den verticalen Abstand desselben von dem Niveau der Flüssigkeit zur Höhe hat.

Hat man dagegen den Druck zu bestimmen, den die Flüssigkeit gegen irgend einen grösseren Theil der Wand ausübt, so hat man diesen Theil in einzelne sehr kleine Theile zu zerlegen und den Druck zu berechnen, der auf jedes dieser Flächenelemente ausgeübt wird.

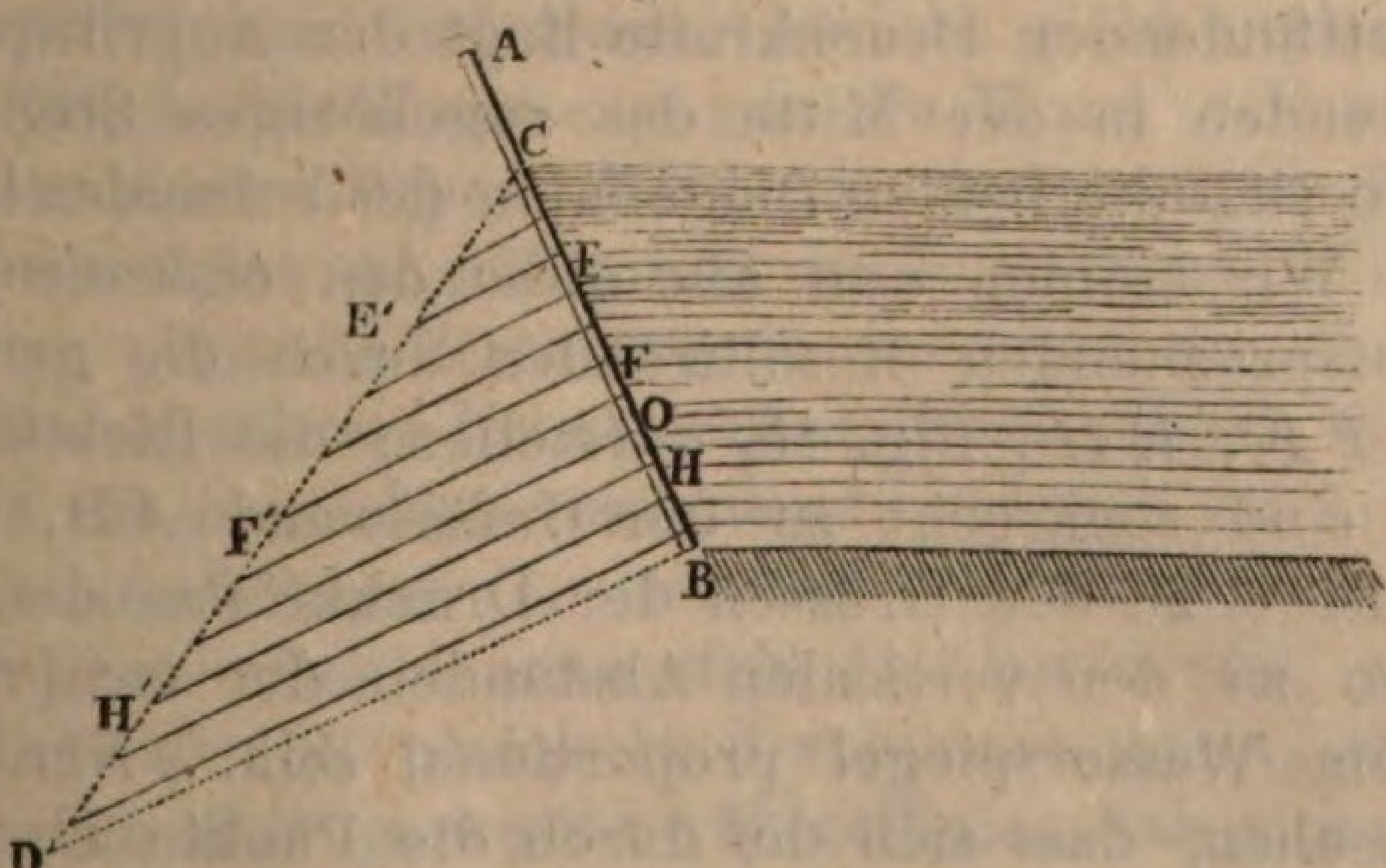
Wenn die gedrückte Wandstelle eben ist, so haben die auf die einzelnen Theile derselben kommenden einzelnen Druckkräfte, da sie alle senkrecht zu der Fläche sind, parallele Richtungen und lassen sich daher nach I. §. 26 zu einer einzigen

Resultirenden zusammensetzen, deren Grösse gleich der Summe aus den einzelnen Druckkräften ist. Die Rechnung lehrt nun, dass der gesammte Druck auf eine beliebig grosse Wandfläche gleich ist dem Gewichte eines Flüssigkeitsprismas, welches die ganze gedrückte Fläche zur Basis und den verticalen Abstand des Schwerpunktes der Fläche von dem Niveau zur Höhe hat. Ist z. B. die Wandfläche, deren Druck bestimmt werden soll, 5 Quadratzoll, und die Höhe des Wasserspiegels über dem Schwerpunkt der Fläche 14 Zoll, so erleidet diese Fläche einen Druck gleich dem Gewichte eines Wasserprismas von 5 Quadratzoll Basis und 14 Zoll Höhe. Das Volumen eines solchen Prismas ist $5 \times 14 = 70$ Cubikzoll, und das darin enthaltene Wasser wiegt $70 \times 1{,}0718 = 75{,}026$ Loth; folglich ist der Druck des Wassers gegen die gedachte Wandstelle 75,026 Loth. Wäre das Gefäss statt mit Wasser mit Quecksilber gefüllt, so wäre der Druck gegen dieselbe Wandstelle $13{,}5 \times 75{,}026 = 1012{,}751$ Loth.

Der Angriffspunkt der genannten, aus den partiellen Druckkräften gegen die einzelnen Flächentheile hervorgehenden Resultirenden, welchen man den Mittelpunkt des Druckes nennt, fällt nicht mit dem Schwerpunkte der gedrückten Wandstelle zusammen, sondern liegt tiefer als dieser. Wir müssen uns indessen hier darauf beschränken, bloss dieses Resultat der höheren Analysis mitzutheilen und die Richtigkeit desselben für einen einzelnen Fall näher nachzuweisen.

Es sei *AB*, Fig. 15, eine ebene und geneigte rechteckige Wand eines Gefässes mit zwei wagerechten Seiten. Nehmen wir an, dass das Gefäss bis zu der Höhe *C* mit Wasser gefüllt 17

Fig. 15.



sei und dass die freie zu dem horizontalen Boden parallele Oberfläche desselben gar keinen Druck erleide. In diesem Falle rührt der Druck gegen die rechteckige Wand AB ausschliesslich von dem seitwärts befindlichen Wasser her. Um denselben zu bestimmen, theilen wir die Wand in sehr viele und gleiche horizontale Streifen von geringer Breite, Fig. 16, indem wir zu der Grundlinie des Rechtecks in gleichen Abständen eine Reihe von Parallelen ziehen. Ausserdem denken wir uns einen jeden dieser Streifen durch Querlinien, die zu den genannten Parallelen senkrecht stehen, wieder in sehr viele kleine und unter einander gleiche Rechtecke getheilt, wie Fig. 17 zeigt. Der Druck des Wassers auf ein jedes dieser kleinen Rechtecke ist dann nach dem Vorigen gleich dem Gewichte eines Wasserprismas, welches dieses Rechteck zur Basis und den verticalen Abstand desselben von dem Wasserspiegel zur Höhe hat. Da alle diese kleinen zu einem und demselben Streifen gehörenden Rechtecke denselben Abstand von der Oberfläche haben, so erleiden sie auch alle einen gleich grossen Druck und die Resultirende aus diesen einzelnen Druckkräften ist gleich dem Gewichte des Wasserprismas, welches den ganzen entsprechenden Streifen zur Basis und den verticalen Abstand eines seiner Punkte vom Wasserspiegel zur Höhe hat. Wegen der Gleichheit der einzelnen auf die kleinen Rechtecke, Fig. 17, stattfindenden Druckkräfte liegt der Angriffspunkt dieser Resultirenden in der Mitte des zugehörigen Streifens und zwar da, wo sich die beiden Diagonalen des schmalen Rechtecks schneiden. Wir können nun alle diese den einzelnen Streifen, Fig. 16, entsprechenden Resultirenden durch die geraden Linien EE', FF', HH', Fig. 15, darstellen; die Richtungen dieser Linien sind senkrecht zu der Gefässwand AB, und ihre Längen müssen zu den Grössen der Druckkräfte, die sie darstellen, also zu den verticalen Abständen der entsprechenden Streifen vom Wasserspiegel proportional sein. Nun ist aber leicht einzusehen, dass sich die durch die Punkte E, F, H, B gezogenen und bis zum Niveau verlängerten Höhen verhalten,

Fig. 16.

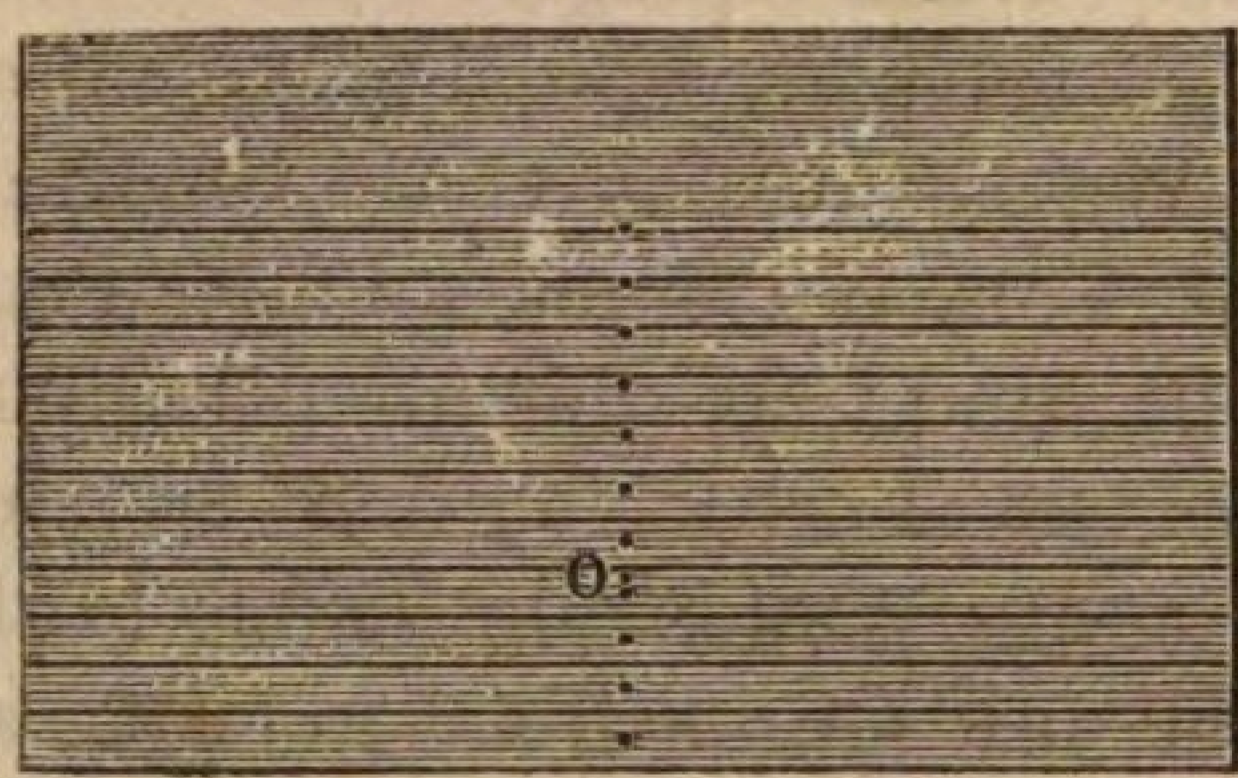


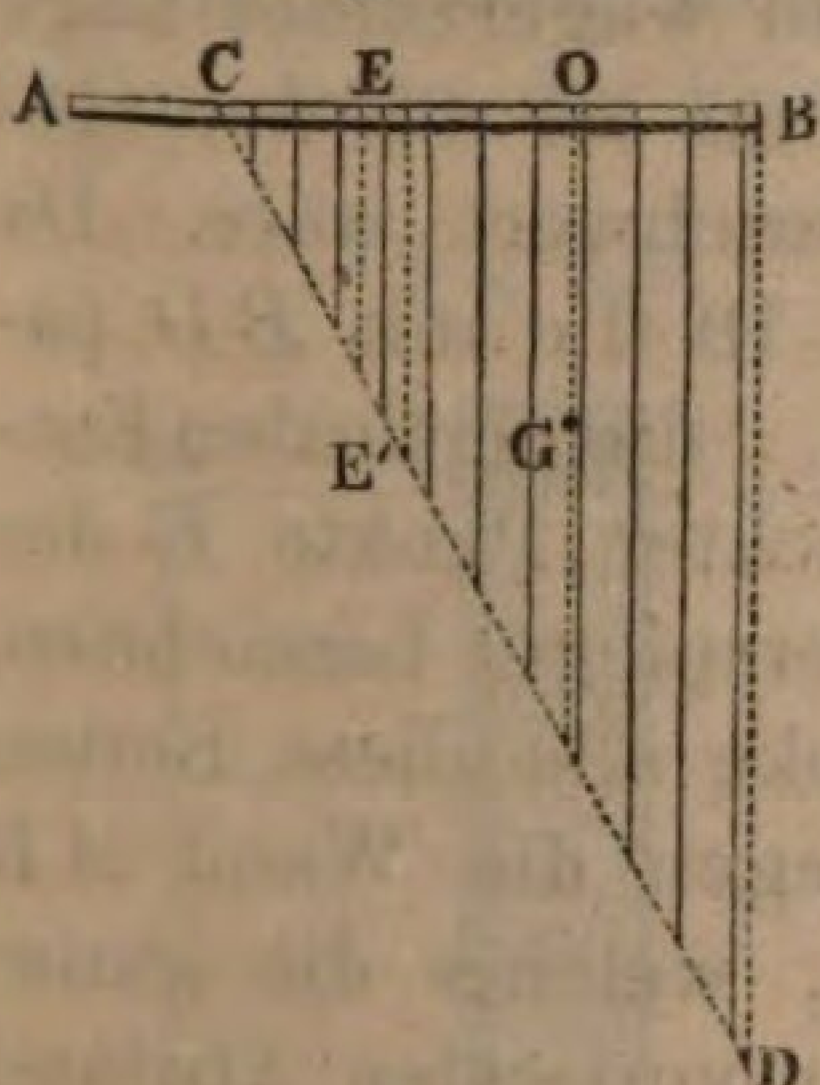
Fig. 17.



wie die Seitenlinien EC, FC, HC, BC, und dass also auch die Linien EE', FF', HH', BD, welche jene verticalen Abstände darstellen, dasselbe Verhältniss haben, wie die genannten Seitenlinien. Aus der Proportion $EE' : FF' : HH' = EC : FC : HC$ folgt aber, dass die Punkte E', F', H' in einer einzigen durch C gehenden geraden Linie liegen müssen. Es handelt sich also nur noch darum, die Resultirende aller dieser einzelnen durch die Linien EE', FF', HH' ... dargestellten Druckkräfte zu finden, welche uns dann den Gesammtdruck des Wassers gegen die ganze Seitenwand AB angiebt.

Zu diesem Zwecke denken wir uns die Wand AB horizontal gelegt, wie es die Fig. 18 zeigt; die Linien EE'..., welche die den einzelnen Streifen der Wand entsprechenden Druckkräfte darstellen, werden dann vertical. Eine jede dieser Kräfte aber, z. B. EE', können wir uns durch eine schwere Stange von derselben Länge versinnlichen, die in dem Angriffspunkte E dieser Kraft an der Wand AB aufgehängt ist und denselben verticalen gegen die Wand AB senkrecht gerichteten Zug auf den Punkt E ausübt, wie er in der wirklichen Stellung der Gefässwand von dem Wasser ausgeübt wird. Die ganze Wand AB erleidet dann durch das Gewicht dieser Stangen genau denselben Druck, wie in ihrer natürlichen Stellung, Fig. 15, durch das Wasser. Denkt man sich diese Stangen in ihrer ganzen Ausdehnung gleichartig und so weit abgeplattet, dass sich die benachbarten unter einander berühren, so macht die Gesammtheit aller Stangen das Gewicht des schweren Dreiecks BCD aus, und dieses Gewicht giebt zugleich den gesammten Druck des Wassers gegen die Wand AB an. Da nun das Gewicht eines Körpers BCD als eine verticale Kraft anzusehen ist, die ihren Angriffspunkt im Schwerpunkte G des Körpers hat, so geht die Resultirende aus allen einzelnen auf die Wand CB ausgeübten Druckkräften durch diesen Schwerpunkt G, und da sie ausserdem vertical ist, so geht sie in der Wand AB durch einen Punkt O, welcher vertical über dem Schwerpunkte G liegt. Denkt man sich die Linie CG gezogen, so ist nach I. §. 40 CG gleich $^2/_3$ der ganzen von C durch G bis zur Gegenseite BD gezogenen Mittellinie; daher ist auch CO gleich $^2/_3$ der Linie CB, OB ist also $^1/_3$ dieser Linie. Hieraus

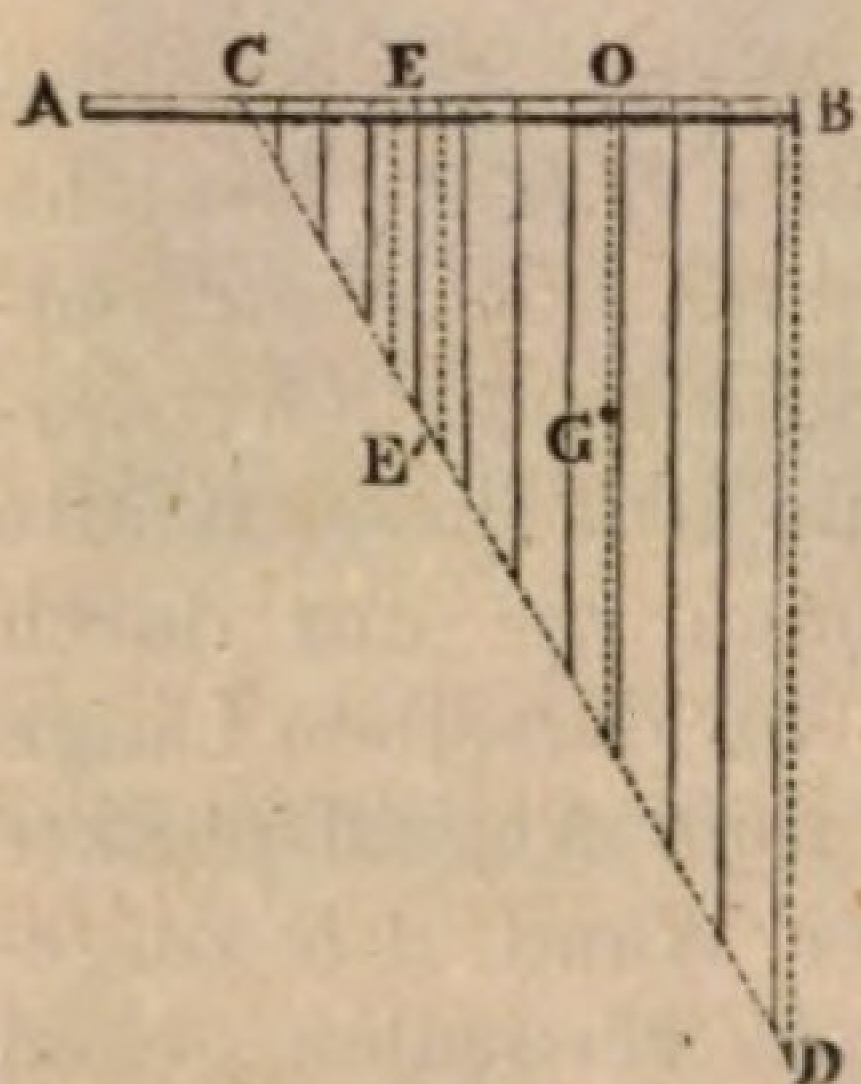
Fig. 18.



folgt, dass der Mittelpunkt des Druckes für die rechteckige Wand AB, Fig. 15 und 16, in der Linie liegt, welche die Mitten der beiden horizontalen Seiten verbindet, und zwar im Endpunkte des ersten Drittels dieser Linie vom Boden des Gefässes an gerechnet.

Die Grösse des ganzen gegen die Wand ausgeübten Druckes ist gleich dem Gewichte des schweren Dreiecks CBD, Fig. 19; offenbar aber hat ein Rechteck, dessen Seiten CB und $\frac{1}{2}\,BD$ sind, denselben Inhalt und daher auch dasselbe Gewicht, als das Dreieck CBD. Man kann daher auch sagen, dass der Gesammtdruck, den die Wand AB auszuhalten hat, gleich ist demjenigen Drucke, welchen sie in wagerechter Lage auszuhalten hätte, wenn sie mit dem genannten Rechtecke beschwert wäre. Da nun aber in der Fig. 19 die mit BD parallelen Seiten $EE' \ldots$ die verticalen Entfernungen der gedrückten Punkte E der Wand von dem Wasserspiegel bezeichnen, und bei dem Rechtecke alle diese Seiten einander gleich sind, so ist der Druck gegen die Wand AB gleich dem Gewichte eines Wasserprismas, welches die ganze gedrückte Fläche BC zur Basis, und den verticalen Abstand der Mitte von BC, oder den Abstand des Schwerpunktes dieser gedrückten Fläche von dem Wasserspiegel zur Höhe hat.

Fig. 19.



18 **Druck auf den horizontalen Boden.** Aus dem Vorigen ergiebt sich weiter, dass der Druck einer Flüssigkeit auf den horizontalen Boden AB eines Gefässes, Fig. 20, gleich ist dem Gewichte des Flüssigkeitsprismas $ABDC$, welches vertical über dem Boden steht, so dass dieser Druck nur von der Grösse des Bodens und von der Höhe des Wasserspiegels über dem Boden abhängt. Die Form der Seitenwände und die Menge der in dem Gefässe enthaltenen Flüssigkeit hat auf die Grösse dieses Druckes keinen Einfluss; selbst dann, wenn das Gefäss sich nach oben verengt wie in Fig. 21 und Fig. 22, ist doch der Druck auf den Boden stets gleich dem Gewichte der über dem Boden er-

Fig. 20.



richteten verticalen Flüssigkeitssäule *ABCD*, obgleich die in dem Gefässe wirklich enthaltene Flüssigkeit weniger wiegt, als dieser Druck beträgt.

Fig. 21.

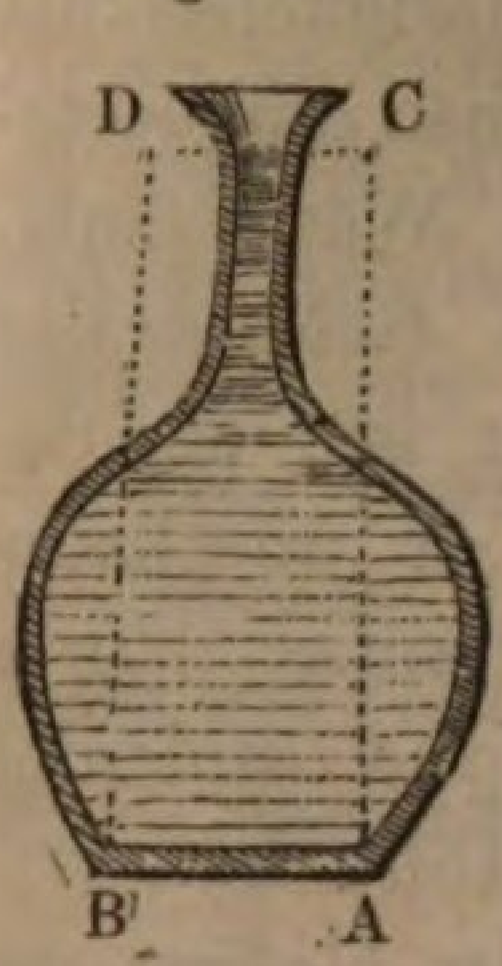
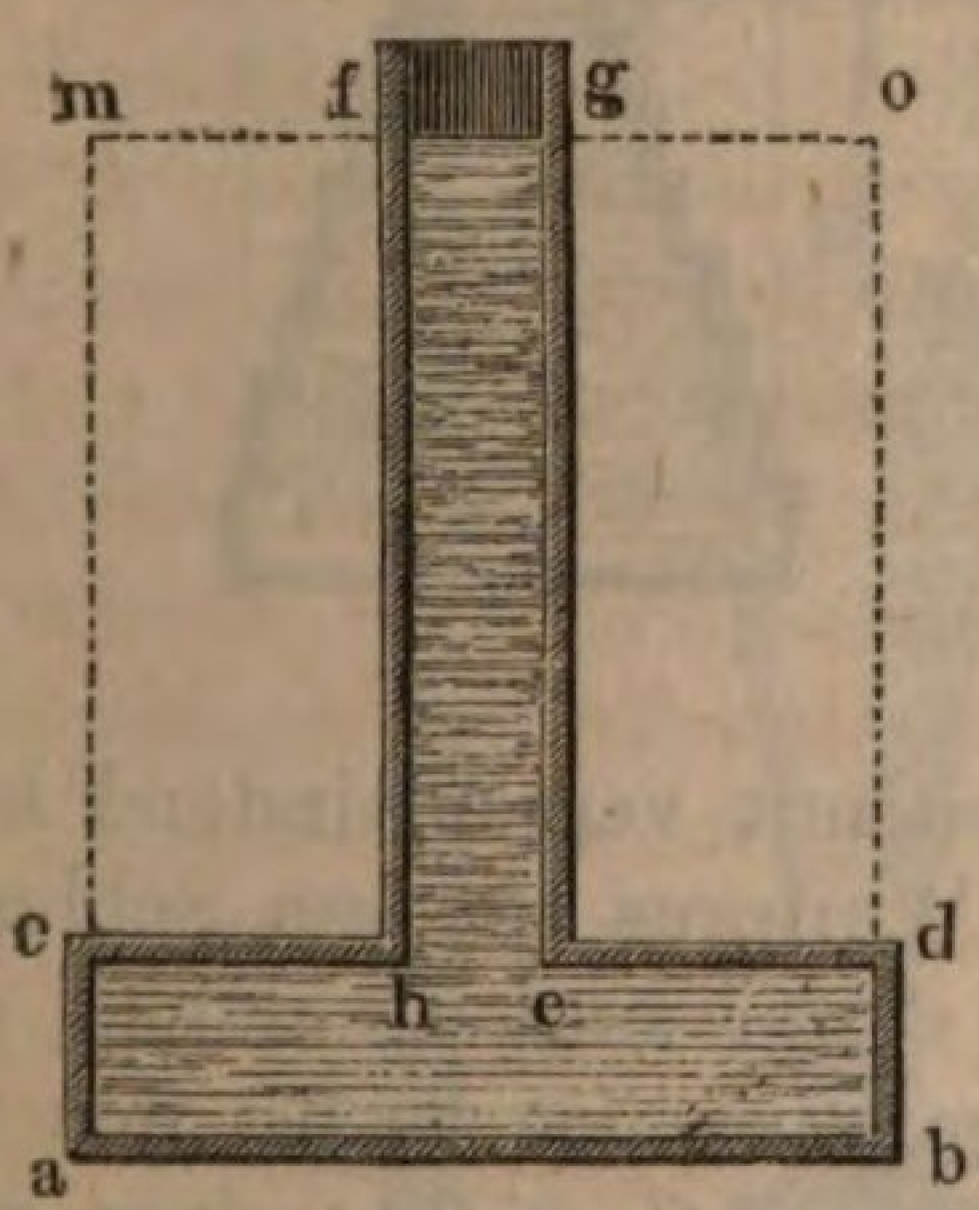


Fig. 22.



Auf den ersten Blick könnte dieses letztere Resultat befremdend erscheinen, und man hat es daher auch mit dem Namen des **hydrostatischen Paradoxes** bezeichnet. Um eine klare Einsicht von der Ursache zu bekommen, warum bei einem nach oben sich verengenden Gefässe der Druck auf den horizontalen Boden grösser ist, als das Gewicht der ganzen in dem Gefässe enthaltenen Flüssigkeit, denken wir uns, das Gefäss habe die Form, wie in Fig. 23 und bestehe aus einem weiten, eckigen oder runden Gefässe *abcd* mit verticalen Seitenwänden, an welches sich oben eine engere Röhre *fghe* ansetzt. Wenn in der Röhre *fghe* kein Wasser enthalten wäre, so würde der horizontale Boden *ab* zunächst direct einen Druck gleich dem Gewichte der darüber stehenden Wassersäule *acdb* erleiden. Wird aber Wasser bis zur Höhe *fg* hineingegossen, so erleidet der Querschnitt *he* einen Druck gleich dem Gewichte der Wassersäule *fghe*. Dieser Druck pflanzt sich nach dem Vorigen nach allen Richtungen durch das darunter befindliche Wasser gleichmässig fort, und es erleidet der Boden *ab* auch noch diesen Druck so oft mal, als der Querschnitt *he* in *ab* enthalten ist. Es bekommt hiernach jedes Flächenstück des Bodens *ab*, welches so gross ist als *he*, den Druck der Wassersäule *fgeh*, und die Wirkung dieser einen Wassersäule gegen die Fläche *he* ist wegen der Druckfortpflanzung genau dieselbe, als ob über jeden Flächentheil des Bodens von der Grösse des Querschnitts *he* direct eine Wassersäule gleich der *fgeh* drückend sich erhöbe. Um also den vollen Druck, den der Boden *ab* bekommt, zu erhalten, kann man die obere Wand *ched* ganz wegnehmen und statt ihrer auf die Oberfläche des dadurch frei

Fig. 23.



werdenden Wassers die Wassersäule *fgeh* so oft mal nebeneinander setzen, als es angeht. Der Druck auf den Boden *ab* des Gefässes ist also gleich dem Gewichte der Flüssigkeitssäule *abdc* vermehrt um das Gewicht der auf diese Weise aufgesetzten und den ganzen Raum *cdom* ausfüllenden Wassersäule. Hieraus ist ersichtlich, dass bei einem solchen Gefässe der Druck auf den horizontalen Boden *ab* weit grösser ist, als das Gewicht des darin enthaltenen Wassers, und dass er überhaupt gleich ist dem Gewichte eines verticalen Wasserprismas *abom*, welches den gedrückten Boden *ab* zur Grundfläche und den Abstand *am* des Bodens vom Wasserspiegel zur Höhe hat.

Setzen wir diese Schlüsse fort, zuerst für ein Gefäss mit einem horizontalen Absatze von der Form der Fig. 24, dann für ein Gefäss mit sehr vielen Treppenabsätzen, Fig. 25, und

Fig. 24.

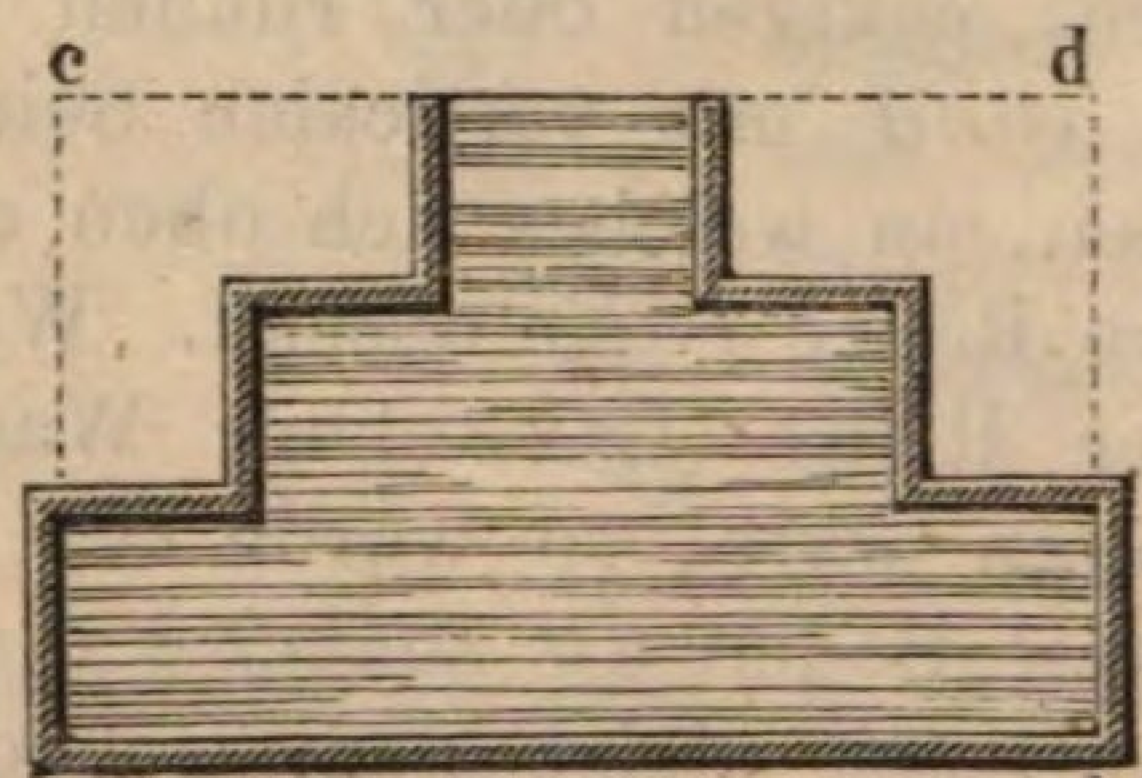
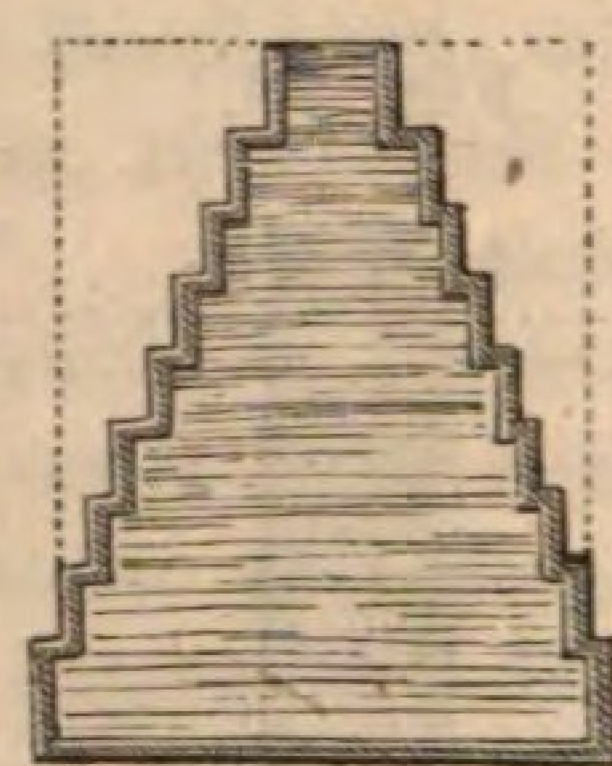


Fig. 25.



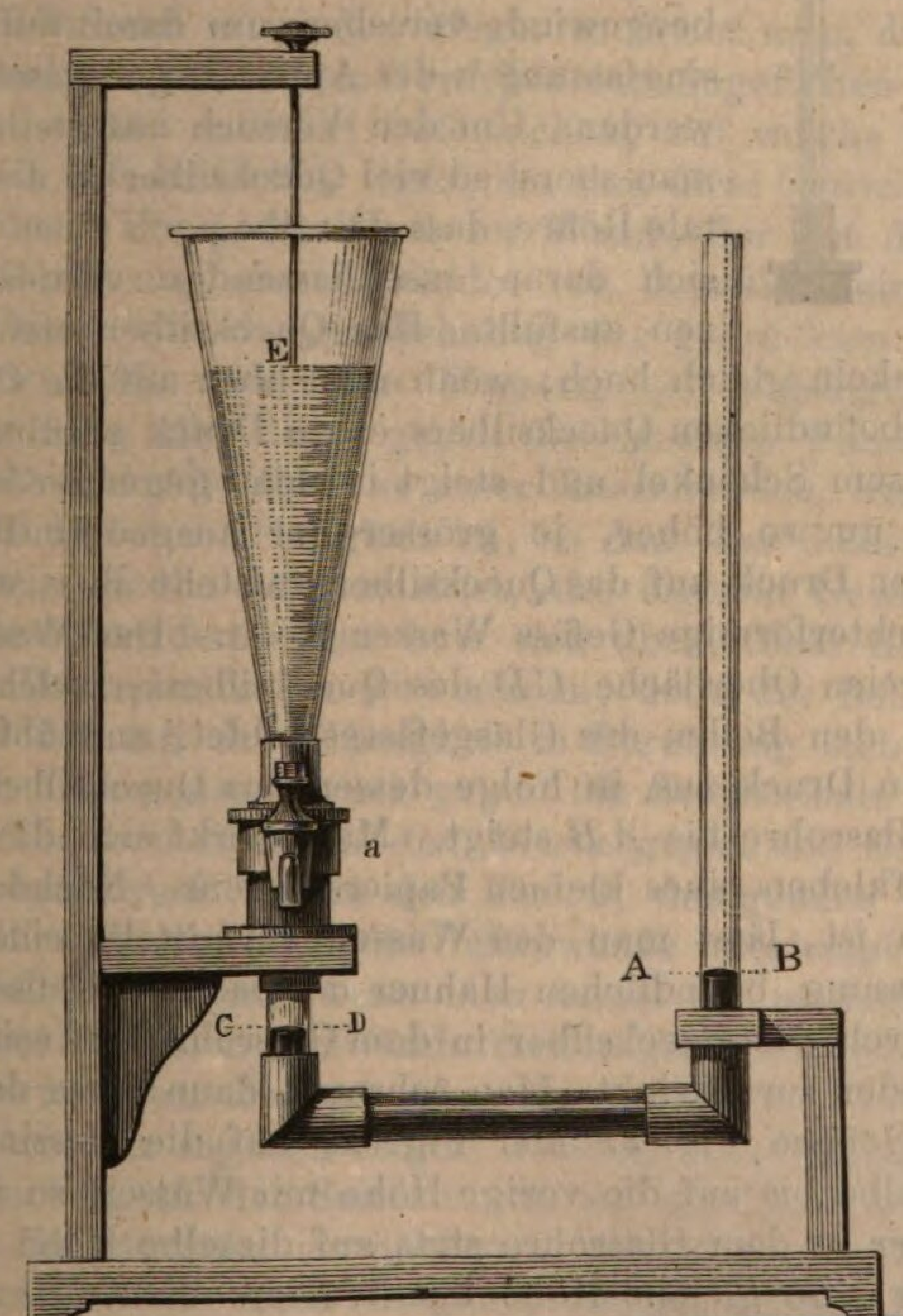
dehnen wir sie endlich aus auf Gefässe mit verschwindend kleinen Absätzen, so gelangen wir ohne Weiteres zu dem Schlusse, dass auch bei Gefässen, welche oben enger sind als unten, der Druck auf den horizontalen Boden, ganz so wie es bei den anderen Gefässen der Fall ist, gleich ist dem Gewichte eines verticalen Wasserprismas, welches zur Grundfläche den gedrückten Boden und zur Höhe die Erhebung des Wasserspiegels über dem Boden hat.

Erläutern wir das Vorstehende noch durch ein Zahlenbeispiel. Irgend ein Gefäss von beliebiger Form habe eine horizontale Bodenfläche von 2 Quadratfuss, dasselbe sei bis zu einer Höhe von 10 Fuss über dem Boden mit Wasser gefüllt, so ist es für den Druck auf den Boden einerlei, welche Gestalt das Gefäss hat und ob es viel Wasser fasst oder wenig; der Druck auf den Boden ist nämlich unter allen Umständen gleich dem Gewichte einer Wassersäule von 20 Kubikfuss Inhalt. Da nun 1 Kubikfuss Wasser 61,7378 Pfund wiegt, so ist der Druck desselben auf den Boden $20 \times 61{,}7378 = 1234{,}756$ Pfund. Be-

steht das Gefäss unten aus einem flachen Kasten von 2 Quadratfuss Bodenfläche, setzt man damit eine enge Röhre von 10 Fuss Höhe in Verbindung und füllt man das Ganze mit Wasser an, so erleidet der Boden des Gefässes einen Druck von 1234,756 Pfund, obgleich das Wasser, welches diesen Druck ausübt, vielleicht nur sehr wenige Pfunde wiegt.

Man kann den vorstehenden Satz über die Grösse des Bodendruckes durch den nachstehenden Apparat von Haldat leicht experimental nachweisen. Derselbe besteht, wie Fig. 26 zeigt, aus einer horizontalen Röhre, an deren Enden unter ei-

Fig. 26.



nem rechten Winkel zwei andere kurze Röhren angesetzt sind. Die eine dieser Röhren ist mit einem Glasrohre bleibend verbunden, die andere ist mit einer Messingfassung *a* versehen,

auf welche nach einander Gefässe von verschiedener Form aufgeschraubt werden können. Das in der Figur aufgeschraubte Gefäss erweitert sich nach oben und hat die Gestalt eines Trichters; die Fig. 27 und Fig. 28 zeigen zwei andere Gefässe, deren Boden ebenso gross ist, wie bei dem trichterförmigen Gefässe, und von denen das eine, Fig. 27, überall denselben Querschnitt hat, das andere aber, Fig. 28, oben enger ist, als unten. Der obere Theil beider Gefässe ist bloss deshalb trichterförmig erweitert, um leicht Wasser eingiessen zu können; der untere Theil ist mit einem Schraubengewinde versehen, um damit auf die Messingfassung a des Apparates aufgeschraubt zu werden. Um den Versuch anzustellen, giesst man zuerst so viel Quecksilber in die horizontale Röhre, dass dasselbe noch einen Theil der sich daran anschliessenden verticalen Röhren ausfüllt. Das Quecksilber steht in beiden Schenkeln gleich hoch; wenn man aber auf die Oberfläche des links befindlichen Quecksilbers einen Druck ausübt, so sinkt es in diesem Schenkel und steigt in dem gegenüberstehenden Glasrohre um so höher, je grösser der ausgeübte Druck ist. Ein solcher Druck auf das Quecksilber entsteht aber, wenn man in das trichterförmige Gefäss Wasser giesst. Das Wasser steht auf der freien Oberfläche CD des Quecksilbers, welche in diesem Falle den Boden des Glasgefässes bildet, und übt auf dasselbe einen Druck aus, in Folge dessen das Quecksilber in dem anderen Glasrohre bis AB steigt. Man merkt sich diesen Stand durch Aufkleben eines kleinen Papierstreifens. Nachdem dieses geschehen ist, lässt man das Wasser vermittelst eines in der Messingfassung befindlichen Hahnes a aus dem Gefässe ablaufen, wodurch das Quecksilber in dem Glasrohre auf seinen alten Stand wieder zurücksinkt. Man schraubt dann eines der beiden anderen Gefässe Fig. 27 oder Fig. 28 auf die Messingfassung, füllt dasselbe bis auf die vorige Höhe mit Wasser, so steigt das Quecksilber in dem Glasrohre stets auf dieselbe Höhe AB. Als Marke für eine gleiche Höhe des Wassers dient das Stäbchen E, das in dem oberen Querarm des Gestelles angebracht ist und dessen Spitze anzeigt, wie hoch man das Wasser bei den einzelnen Gefässen einzufüllen hat. Der Versuch lehrt unzweifelhaft, dass bei den drei verschiedenen Gefässen das Wasser

Fig. 27.



Fig. 28.



einen gleichen Druck auf den horizontalen Boden ausübt, und dass weder die Form des Gefässes, noch das Gewicht des darin enthaltenen Wassers auf den Bodendruck von Einfluss ist.

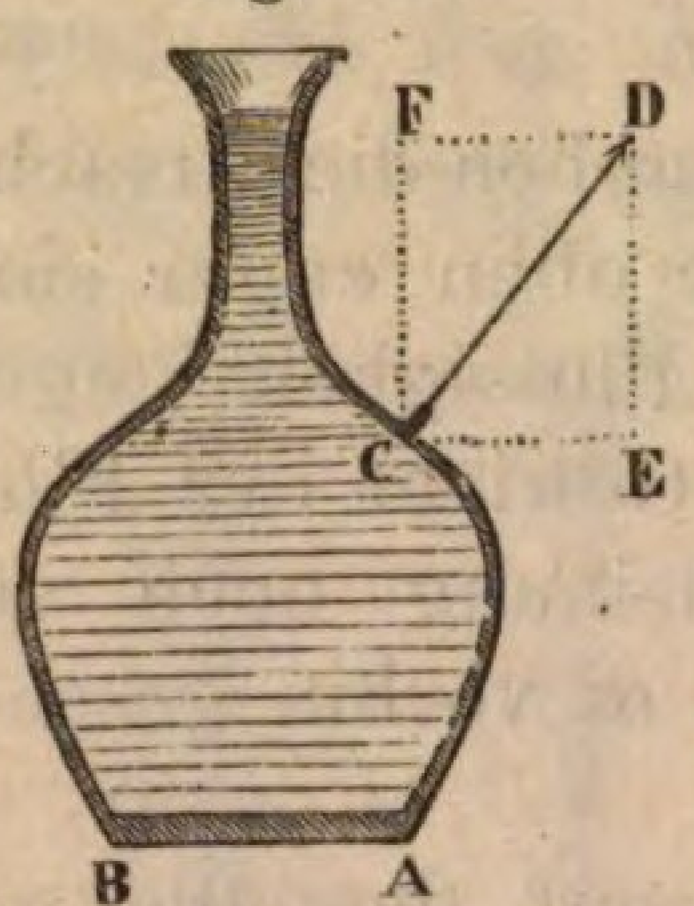
Wir haben bereits in dem vorigen Paragraphen die Ursache 19
kennen gelernt, warum in den Gefässen, die oben enger sind als unten, der Druck der darin enthaltenen Flüssigkeit gegen den horizontalen Boden grösser ist, als das Gewicht der Flüssigkeit. Wir wollen diese auffallende Erscheinung noch aus einem anderen Gesichtspunkte betrachten, als es vorhin geschehen ist.

Wenn man ein leeres Gefäss wiegt, darauf dasselbe mit Wasser füllt, und es wieder wiegt, so findet man, dass die Gewichtszunahme gleich dem Gewichte der eingefüllten Flüssigkeit ist. Wir wollen zunächst untersuchen, auf welche Weise die Flüssigkeit auf das Gefäss wirkt, um ihm diese Gewichtszunahme zu ertheilen. Ein jeder Theil der Wand, der mit der Flüssigkeit in Berührung steht, erleidet von derselben einen Druck, dessen Grösse von der Ausdehnung der gedrückten Stelle und von ihrer Tiefe unter dem Wasserspiegel abhängt. Die Zusammensetzung aller dieser gegen die einzelnen Wandtheile ausgeübten Druckkräfte führt zu einer Resultirenden, welche gleich dem Gewichte der Flüssigkeit ist, so dass das Gefäss der Wirkung zweier Kräfte ausgesetzt ist, des eigenen Gewichtes und dieser Resultirenden. Man hüte sich aber, diese Resultirende mit dem Bodendrucke zu verwechseln, denn der Boden ist nur ein Theil der mit der Flüssigkeit in Berührung stehenden Gefässwand. Den ganzen Druck gegen die Gefässwände kann man in zwei Theile theilen, in den Druck gegen die Seitenwände und in den Druck gegen den Boden; demgemäss kann man die Resultirende aus allen die Gefässwände überhaupt treffenden Druckkräften erhalten, wenn man zuerst die partielle Resultirende aus den die Seitenwände treffenden Druckkräften bildet und diese mit dem Bodendrucke zusammensetzt. Hierbei kann es aber, wie wir sogleich zeigen werden, vorkommen, dass die erstere Partialkraft der Seitenwände bei der Zusammensetzung mit dem Bodendrucke vermindernd wirkt und eine Endresultirende (das Gewicht der Flüssigkeit) liefert, welche kleiner ist, als der Bodendruck allein. Dass in diesem Falle der Bodendruck grösser ist, als das Gewicht der Flüssigkeit, versteht sich von selbst.

Der Druck der Flüssigkeit gegen irgend einen Punkt C der

Gefässwand, Fig. 29, hat eine Richtung CD, welche senkrecht steht zu dem Wandtheilchen dieses Punktes. Man kann

Fig. 29.



diesen von innen nach aussen gerichteten Druck in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine CE horizontal, die andere CF vertical ist. In der Fig. 29 ist die verticale Seitenkraft CF von unten nach oben gerichtet; sie würde aber eine entgegengesetzte Richtung von oben nach unten haben, wenn man den Punkt C tiefer und in einer geringen Entfernung vom Boden AB angenommen hätte. Wenn man auf diese Weise alle gegen die einzelnen Wandtheile gerichteten Druckkräfte zerlegt, so erhält man eine Gruppe von horizontalen Seitenkräften, wie CE, und eine andere Gruppe von verticalen Seitenkräften, wie CF. Die ersteren, deren Richtungen sich rund um das Gefäss herum erstrecken, heben sich, wie eine genauere Analyse ergiebt, gegenseitig auf; es kann dieses auch nicht anders sein, da sie, wenn sie sich nicht aufhöben, das Bestreben haben würden, das Gefäss nach der einen oder der anderen Seite in horizontaler Richtung von der Stelle zu bewegen, was in der Wirklichkeit nicht der Fall ist.

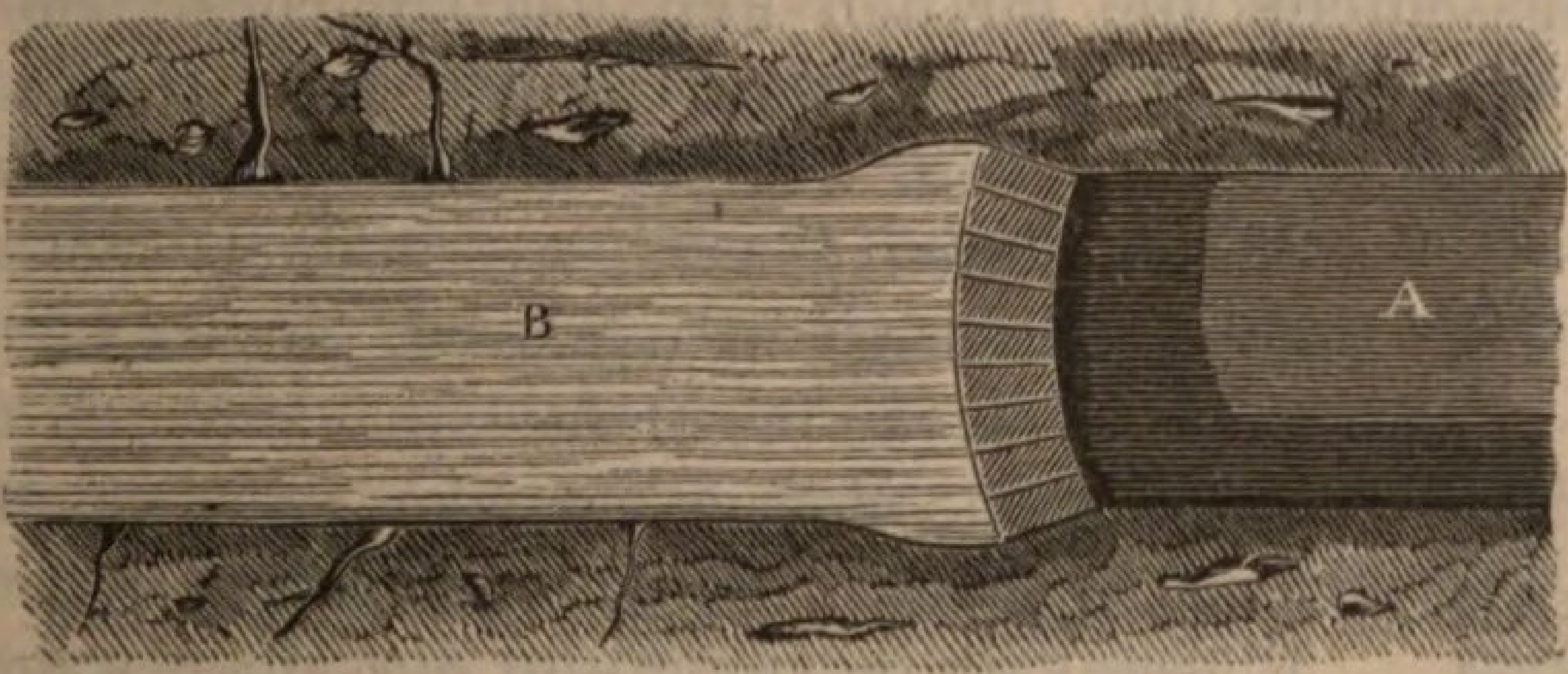
Die verticalen Seitenkräfte, wie CF, sind unter sich parallel; aber einige von ihnen haben die Richtung von oben nach unten, andere die entgegengesetzte von unten nach oben; sie lassen sich daher zu einer einzigen Mittelkraft zusammen setzen, die zwar ebenfalls vertical, aber je nach den Umständen von oben nach unten oder von unten nach oben gerichtet ist. Diese eine Resultirende ist die Partialkraft für den Seitendruck, wovon oben die Rede war, und man begreift, dass durch ihre Zusammensetzung mit der Kraft des immer vertical abwärts gerichteten Bodendrucks letzterer bald verstärkt, bald geschwächt wird, je nachdem die erstere Partial-Resultirende die Richtung abwärts oder aufwärts hat. In dem ersteren Falle ist offenbar der Bodendruck allein kleiner, als die Endresultirende beider Kräfte, also kleiner als das Gewicht der Flüssigkeit, im letzteren Falle aber ist, wie in Fig. 29, der Bodendruck allein grösser als diese aus zwei entgegengesetzten Kräften sich ergebende Endresultirende, also grösser als das ganze Gewicht der Flüssigkeit.

20 Wir haben bereits früher an einigen Beispielen gezeigt, wie bedeutend der Druck des Wassers unter Umständen sein

kann. Da nach dem Vorstehenden der Druck im Innern wie auf den Boden mit der Tiefe zunimmt, so ist es begreiflich, dass in den bedeutenden Tiefen des Meeres ein enormer Druck herrschen muss. Der Druck gegen eine Fläche von 1 Quadratfuss in der Tiefe von 6000 Fuss unter der Oberfläche des Meeres beträgt schon, wenn man den Kubikfuss Meerwasser nur zu $61\frac{3}{4}$ Pfund annimmt, 370500 Pfund; wegen der geringen Zusammendrückbarkeit des Wassers ist gleichwohl die Dichtigkeit in so beträchtlichen Tiefen nicht sehr abweichend von der gewöhnlichen Dichte desselben an der Oberfläche.

Wenn in den Bergwerken eine Galerie *A B*, Fig. 30, in zwei Theile getheilt und der eine Theil *A* von dem anderen

Fig. 30.



B, der durch Zerklüftungen des Gesteins das Wasser aus den oberen Schichten in die Galerie eindringen lässt, vollständig abgeschlossen werden soll, so mauert man eine Art Gewölbe zwischen beide Abtheilungen *A* und *B* ein. Die Abtheilung *B* füllt sich bald ganz mit Wasser an und dieses steht durch die Gesteinspalten mit dem Wasser der oberen Schichten in Verbindung, so dass nicht selten eine zusammenhängende, mehrere hundert Fuss hohe Wassersäule entsteht. Nehmen wir an, das Wasser reiche in den Spalten des Gesteins vom Mittelpunkte des Gewölbes an gerechnet 300 Fuss hoch hinauf, und das Gewölbe habe eine Oberfläche von 20 Quadratfuss, so beträgt der Druck, den dasselbe auszuhalten hat, $6000 \times 61{,}7378 = 370427$ Pfund. Um einem solchen Druck widerstehen zu können, muss das Mauerwerk mit ganz besonderer Sorgfalt ausgeführt sein und an dem Gestein, gegen welches es sich anlehnt, feste Widerlager haben. In der mit Wasser angefüllten Abtheilung *B* übt das Wasser nicht minder einen bedeutenden Druck auf alle übrigen Wände aus, und zwar nicht bloss auf den Boden, sondern auch auf die oberen Wände der Höhlungen, die etwa in der Galerie oder dem höher gelegenen Gestein vorhanden

sind. Das Erdreich, welches diese Höhlungen bildet, wird hierdurch gestützt und gegen den Einsturz gesichert; pumpt man dann später, um die ersäuften Galerien wieder nutzbar zu machen, dieselben leer, so entstehen oft zahlreiche Einstürze, da die schweren Gesteinsschichten, die früher von dem Druck des Wassers getragen wurden, nun plötzlich ihrer Stütze beraubt werden.

21 **Die Oberfläche der Trennungsschicht zweier verschiedener Flüssigkeiten.** Wenn man zwei verschiedene Flüssigkeiten, die sich nicht mischen können, in einem Gefässe zusammenbringt, so füllt jede für sich einen Theil des Inhaltes aus und es entsteht zwischen beiden eine gemeinsame Trennungsschicht, die für den Fall des Gleichgewichtes nothwendig eine horizontale Ebene bilden muss. Denn nehmen wir an, dass, wie in Fig. 31, die einzelnen Punkte dieser Schicht nicht in einer einzigen horizontalen Ebene liegen, so wird sich ergeben, dass die Flüssigkeit auch nicht im Gleichgewicht sein kann. Zu diesem Zwecke nehmen wir zwei Punkte A und B an, welche in der unteren Flüssigkeit in einer und derselben wagerechten Ebene liegen, und zwei andere Punkte D, C, welche in der oberen Flüssigkeit vertical über den Punkten A und B, und zwar ebenfalls in einer einzigen wagerechten Ebene liegen. Die verticalen Linien AD, BC durchschneiden die Trennungsschicht der beiden Flüssigkeiten in den Punkten F und E, wobei wir unter obiger Voraussetzung, dass die Trennungsschicht nicht wagerecht sei, die Punkte A, B so wählen können, dass die Höhen AF, BE ungleich sind.

Fig. 31.



Wenn Gleichgewicht stattfindet, so muss nach §. 6 der Druck in den beiden Punkten C und D gleich gross sein; alsdann aber ist nach §. 7 der Druck in A gegen eine sehr kleine horizontale Fläche gleich dem Druck in D auf eine eben solche Fläche, vermehrt um das Gewicht des verticalen Flüssigkeitsprismas zwischen diesen beiden kleinen Flächen. Ebenso ist der Druck in B gegen eine gleich grosse kleine Fläche gleich dem Druck in C auf eine eben solche Fläche, vermehrt um das Gewicht des verticalen Flüssigkeitsprismas zwischen diesen zwei Flächen. Nun ist aber, wie wir gesehen haben, der Druck in C und D gleich gross, dagegen ist das

Gewicht der beiden Flüssigkeitsprismas *AD* und *BC* nicht gleich gross, sondern letzteres ist kleiner als ersteres, weil es bei gleichem Volumen von der schweren Flüssigkeit weniger enthält, als das Prisma *AD*. Es kann hiernach der Druck in *A* und *B* gegen die beiden angenommenen kleinen und gleichen Flächen nicht gleich gross sein, und daher kann auch das Gleichgewicht der Flüssigkeit nicht vorhanden sein, weil dieses zur nothwendigen Folge hat, dass der Druck für alle Punkte einer und derselben wagerechten Ebene, wo man dieselben auch in der Flüssigkeit annehmen mag, gleich gross ist.

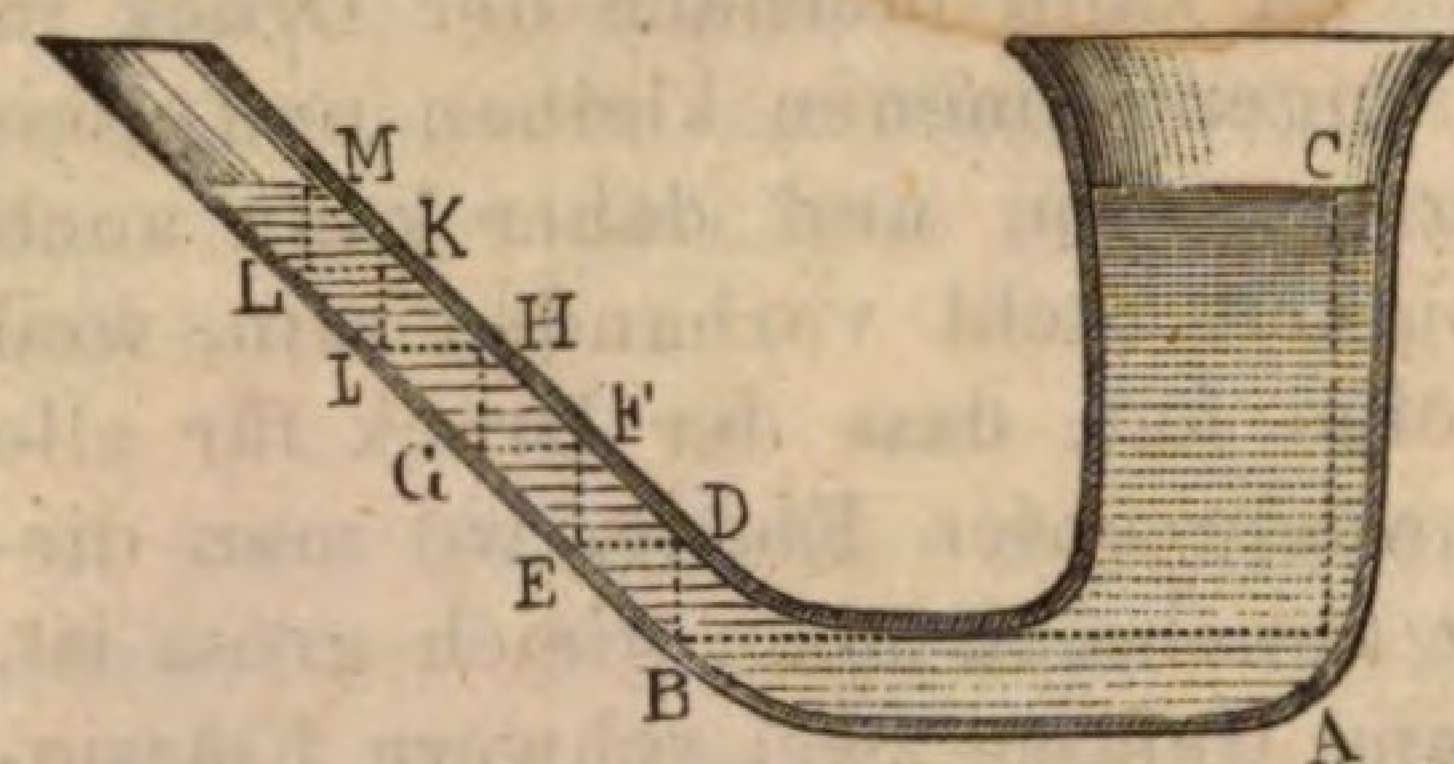
Wenn man daher in einem Gefässe zwei schwere Flüssigkeiten von ungleicher Dichtigkeit, die sich nicht mischen, zusammenbringt, so ist die gemeinschaftliche Trennungsschicht beider eine wagerechte Ebene. Die schwerere Flüssigkeit lagert sich hierbei unter die leichtere; es ist das zwar keine nothwendige Bedingung für das Gleichgewicht, welches allerdings auch bestehen kann, wenn umgekehrt die leichtere Flüssigkeit unter der schwereren steht; in einem solchen Falle aber ist das Gleichgewicht labil und die geringste Erschütterung des Gefässes verursacht wegen der grossen Beweglichkeit der Flüssigkeitstheilchen eine Störung des Gleichgewichtes und eine Umlagerung der beiden Flüssigkeiten.

Wenn sich in einem Gefässe mehrere Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit befinden, die sich nicht mischen, so stellen sie sich alle übereinander, und zwar so, dass die Trennungsschichten wagerechte Ebenen bilden und die Dichtigkeiten in der Reihenfolge von unten nach oben abnehmen. Giesst man z. B. in einem Gefässe Quecksilber, Wasser und Oel zusammen, schüttelt die Flüssigkeiten und lässt sie dann ruhig stehen, so setzt sich das Quecksilber am tiefsten ab, auf diesem steht das Wasser und obenauf schwimmt das Oel.

Communicirende Gefässe. Wenn zwei Gefässe an ihren 22
unteren Theilen mit einander in Verbindung stehen, und man giesst in eines derselben eine Flüssigkeit, so vertheilt sich dieselbe auf beide Gefässe. In jedem derselben muss, wie wir bereits oben nachgewiesen haben, die Flüssigkeit eine wagerechte Oberfläche bilden, wir werden aber sehen, dass diese beiden wagerechten Ebenen, wenn die Gefässe mit einander in Verbindung stehen, in einer und derselben Ebene liegen, oder dass die Verlängerung der einen wagerechten Oberfläche mit der freien Oberfläche des anderen Gefässes ganz zusammenfällt.

Es seien *AB*, Fig. 32, zwei Punkte der Flüssigkeit, welche in einer durch die Verbindungsröhre beider Gefässe gehenden horizontalen Linie *AB* liegen; für den Zustand des Gleichgewichtes ist dann nach §. 6 der Druck in diesen beiden Punkten gleich gross. Der Druck in *A* aber ist gleich dem Gewichte eines Flüssigkeitsprismas, welches die Flächeneinheit zur Basis und die Höhe *AC* des Niveaus über dem Punkt *A* zur Höhe hat. Der Kürze wegen wollen wir die Einheit der Fläche mit *e* bezeichnen. Der Druck im Punkte *B* ergiebt sich wegen der eigenthümlichen Form des links stehenden Gefässes nicht so einfach, man kann ihn aber auf folgende Weise bestimmen. Der Druck in *B* ist gleich dem Druck in *D*, vermehrt um das Gewicht eines Flüssigkeitsprismas, welches die Flächeneinheit *e* zur Basis und *BD* zur Höhe hat. Der Druck in *D* ist eben so gross, wie der in *E*, aber dieser ist gleich dem Drucke in *F*, vermehrt um das Gewicht eines Flüssigkeitsprismas, welches *e* zur Basis und *EF* zur Höhe hat; der Druck in *B* ist daher gleich dem Druck in *F*, vermehrt um das Gewicht der zwei Flüssigkeitsprismen, welche beide *e* zur Basis haben, und von denen das eine die Linie *BD*, das andere *EF* zur Höhe hat. Wenn wir so fortfahren, ergiebt sich, da der Druck in *M* gleich Null ist, dass der Druck in *B* gleich ist dem Gewichte von fünf Flüssigkeitsprismen, welche alle die Flächeneinheit *e* zur Basis und einzeln die Linien *BD*, *EF*, *GH*, *IK*, *LM* zur Höhe haben. Da nun der Druck in *A* und *B* gleich gross sein muss, so folgt hieraus, dass die fünf Linien *BD*, *EF*, *GH*, *IK*, *LM* zusammengenommen so gross sein müssen, als die Linie *AC*, oder mit anderen Worten, dass die beiden freien Oberflächen der Flüssigkeit von einer durch die beiden Punkte *AB* gelegten wagerechten Ebene gleich weit abstehen müssen. Da nun ausserdem diese beiden freien Oberflächen selbst wagerechte Ebenen sind, so liegen beide auch in einer einzigen solchen Ebene.

Fig. 32.



Die vorstehende Erscheinung lässt sich mit Hülfe des in Fig. 33 abgebildeten Apparates leicht nachweisen. Derselbe besteht aus einem grösseren Glasgefässe, und einer von dem unteren

Theile seitwärts abgehenden Röhre, die mit einer messingenen Fassung und einem Hahn versehen ist, um darauf verschiedene anders geformte Röhren, Fig. 34 und 35, aufschrauben

Fig. 33.

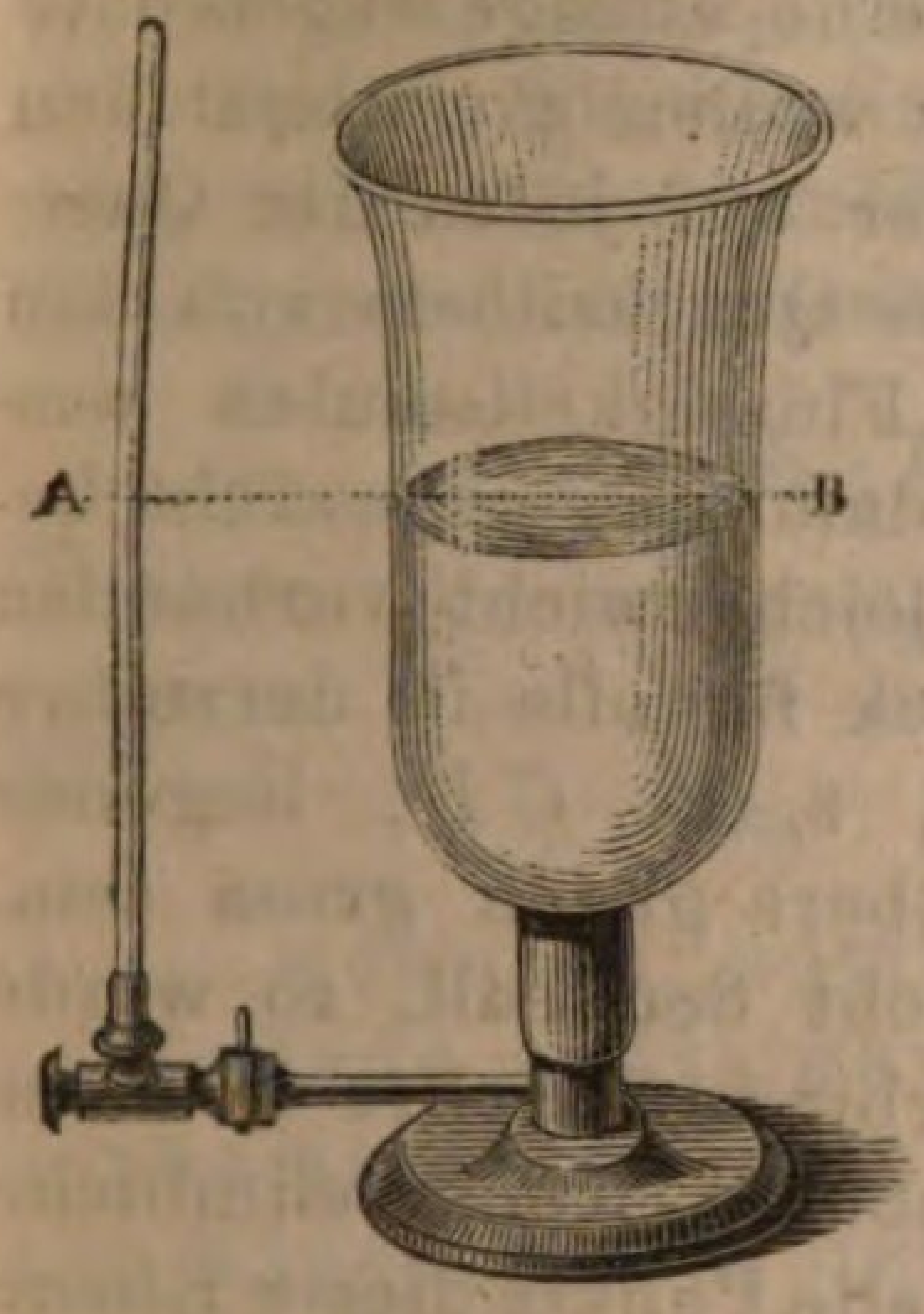


Fig. 34.

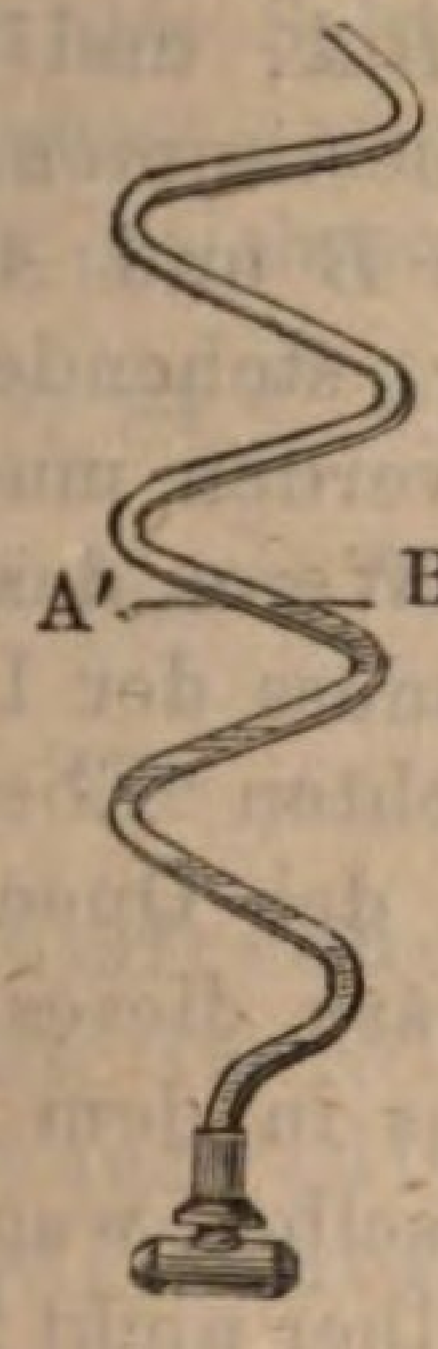
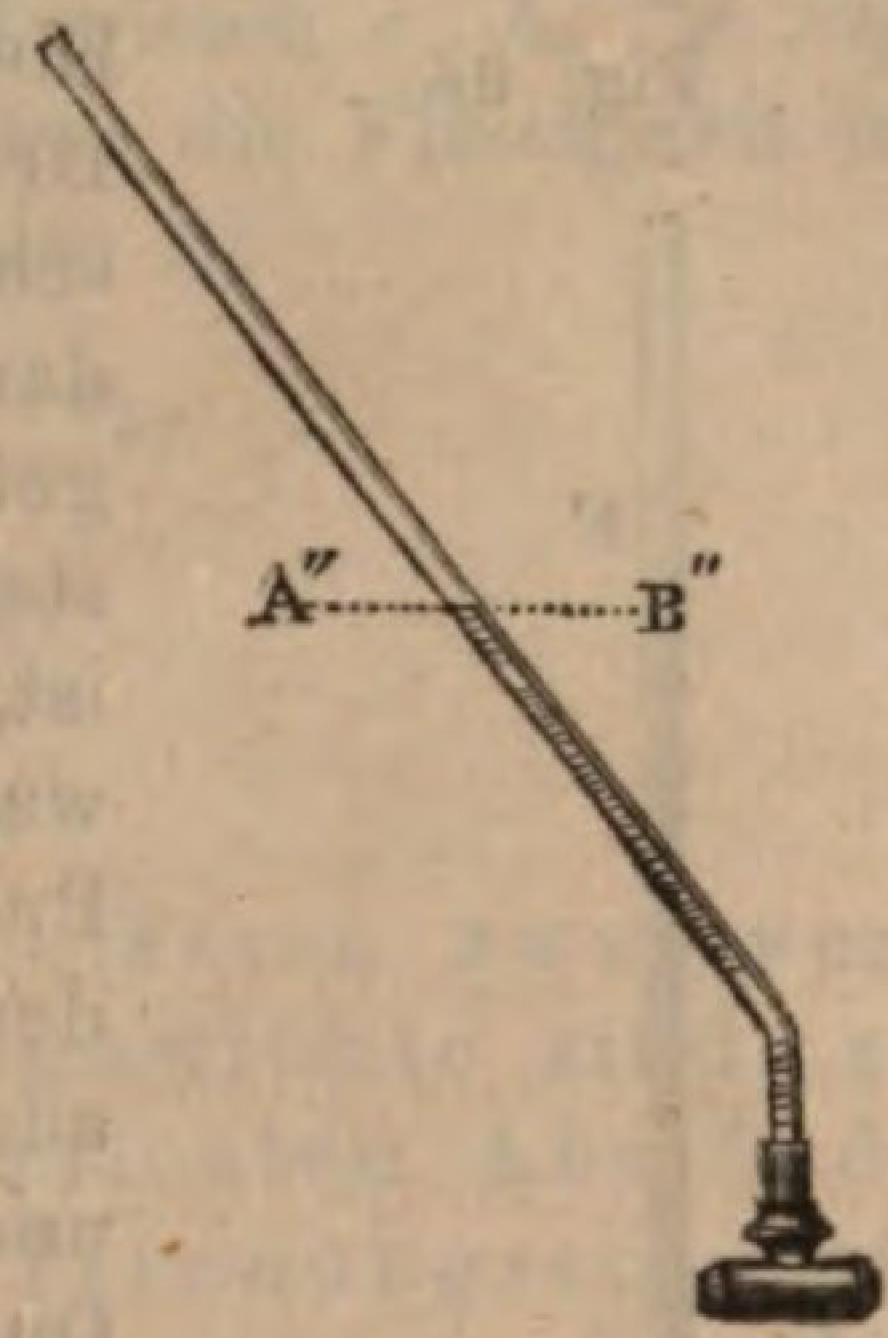


Fig. 35.



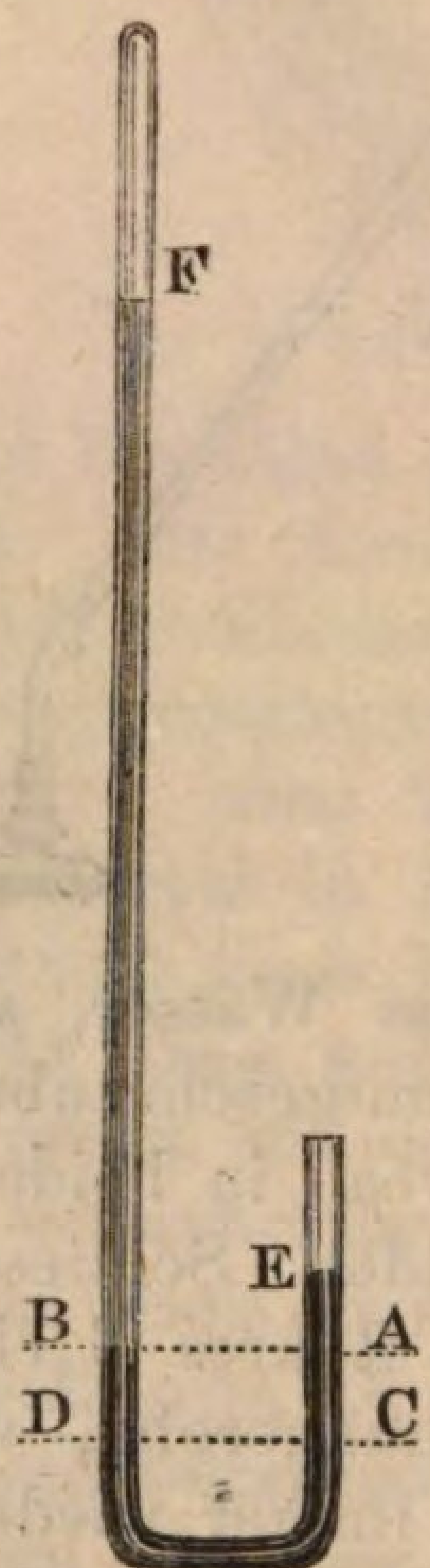
zu können. Giesst man in das grössere Gefäss Wasser, so dringt es durch das Verbindungsrohr in das aufgeschraubte Rohr, und es ist leicht zu erkennen, dass das Niveau in beiden Gefässen eine einzige wagerechte Ebene AB bildet. Schliesst man den Hahn ab und schraubt man statt des Rohres A ein anderes von beliebiger Form auf das Verbindungsrohr, so stellt sich, wenn der Hahn wieder geöffnet wird, immer wieder dieselbe Erscheinung ein; in allen Fällen liegt das Niveau des Wassers $A'B'$, $A''B''$ im engeren Rohre stets in der Verlängerung des Wasserspiegels im weiteren Gefässe.

Anders ist es, wenn man zwei verschiedene Flüssigkeiten 23
von verschiedenen specifischen Gewichten, die sich nicht mischen können, in zwei communicirende Gefässe bringt. Nehmen wir z. B. ein zweimal rechtwinklig gebogenes Glasrohr EF, Fig. 36 (a. f. S.), das an beiden Enden offen ist, und giessen Quecksilber hinein; die Flüssigkeit füllt einen Theil beider Schenkel an und stellt sich in jedem derselben gleich hoch. Giesst man dann in den längeren Schenkel noch Wasser oder eine andere Flüssigkeit hinzu, so übt dieses einen Druck auf das darunter befindliche Quecksilber aus und treibt es zum Theil in den kürzeren Schenkel, wo die Oberfläche E einen höheren Stand einnimmt als früher. Wenn das Gleichgewicht eingetreten ist, liegt die freie Oberfläche F des Wassers in dem längeren

Schenkel nicht mehr in derselben wagerechten Ebene mit der Quecksilberoberfläche E im kürzeren Schenkel, sondern bedeutend höher. Der Grund hierfür ist folgender.

Wenn wir die horizontale Trennungsschicht B der beiden Flüssigkeiten erweitern, so erhalten wir eine einzige wagerechte Ebene BA, und wir wollen zuvörderst den Druck bestimmen, der auf jeden der Querschnitte B und A des Quecksilbers von den darüber stehenden Flüssigkeitssäulen ausgeübt werden muss, damit Gleichgewicht bestehe. Wenn das Gleichgewicht vorhanden ist, so muss der Druck für alle in derselben wagerechten Ebene, z. B. CD, liegende Punkte des Quecksilbers gleich gross sein, denn wäre dieses nicht der Fall, so würde auch das in dem Verbindungsrohre in einer und derselben wagerechten Ebene befindliche Quecksilber nicht für alle Punkte dieser Ebene gleichen Druck erhalten können, was doch für den Fall des Gleichgewichtes nach §. 6 der Fall sein muss. Diese Gleichheit des Druckes für alle Punkte einer wagerechten Ebene DC des Quecksilbers muss aber für alle solche wagerechte Ebenen, also auch für die höchste BA bestehen, wonach also die Punkte des Quecksilbers in den Schichten B und A wirklich gleichen Druck erhalten müssen. Nun ist aber der Druck auf die Flächeneinheit e für die Schicht A gleich dem Gewichte eines Quecksilberprismas, welches die Flächeinheit zur Basis und die Erhebung des Quecksilberniveaus E von der Ebene A zur Höhe hat; ebenso ist der Druck des Wassers auf einen Punkt oder die Flächeneinheit e der Schicht B gleich dem Gewichte eines Wasserprismas, dessen Basis die Flächeneinheit e und dessen Höhe die verticale Entfernung des Wasserniveaus F von der Ebene B ist. Diese beiden Druckkräfte müssen also gleich sein, was nur dann der Fall sein kann, wenn sich die Höhen der beiden genannten Flüssigkeitsprismen umgekehrt wie die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten verhalten.

Fig. 36.



Um die letztere Schlussfolgerung noch klarer einzusehen, bezeichnen wir das Gewicht der kubischen Einheit des Wassers mit w, bezeichnen das specifische Gewicht (§. 15) der Flüssigkeit BF im längeren Schenkel mit s_1, das der anderen Flüssig-

keit $BDCAE$ mit s_2, den verticalen Abstand des Niveaus F von der Ebene AB mit h_1, den verticalen Abstand des Niveaus E von derselben Ebene AB mit h_2, so ist der Druck der ersteren Flüssigkeit auf die Flächeneinheit e der Schicht B gleich $e \,.\, h_1 \,.\, w \,.\, s_1$, und der Druck der zweiten Flüssigkeit auf dieselbe Flächeneinheit der Schicht A gleich $e \,.\, h_2 \,.\, w \,.\, s_2$; diese beiden Druckkräfte müssen aber, wenn die Flüssigkeit im Gleichgewicht ist, einander gleich sein; also ist

$$e \,.\, h_1 \,.\, w \,.\, s_1 = e \,.\, h_2 \,.\, w \,.\, s_2,$$

oder

$$h_1 \,.\, s_1 = h_2 \,.\, s_2,$$

oder

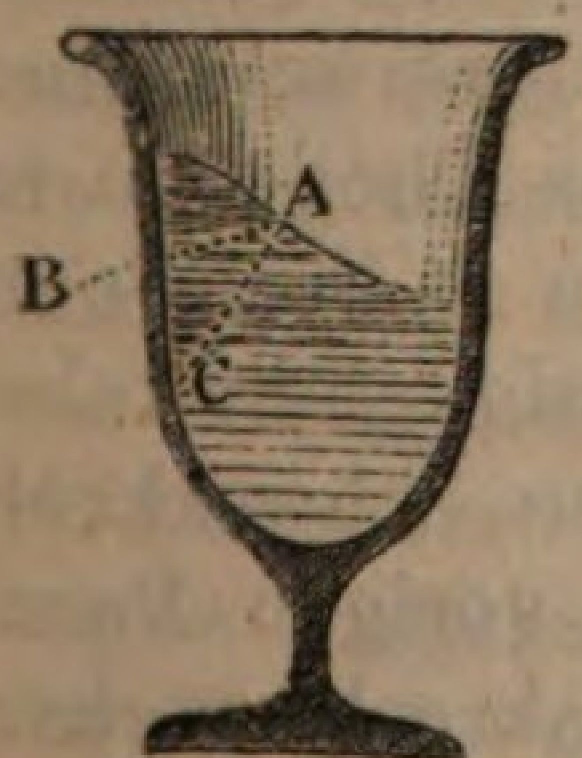
$$h_1 : h_2 = s_2 : s_1;$$

d. h. *wenn in communicirenden Gefässen zwei verschiedene Flüssigkeiten im Gleichgewichte sind, so verhalten sich ihre Höhen (die verticalen Abstände der Niveaus von der horizontalen Trennungsschicht) umgekehrt wie die specifischen Gewichte oder die Dichtigkeiten der Flüssigkeiten.*

Da die Dichtigkeit des Quecksilbers 13,5 mal so gross ist, wie die des Wassers, so hat auch die über BA sich erhebende Wassersäule eine 13,5 mal so grosse Höhe, als die über BA stehende Quecksilbersäule.

Die Flüssigkeiten unter dem Einflusse irgend welcher Kräfte. Wenn ausser der Schwere und den immer vorhandenen Molekularkräften noch andere Kräfte auf die Moleküle einer Flüssigkeit wirken, so ist das Gleichgewicht noch von anderen als den bisher aufgestellten Bedingungen abhängig. Der Druck, der in den einzelnen Punkten der Flüssigkeit stattfindet, lässt sich dann nicht mehr nach den vorigen Regeln bestimmen, und die Oberfläche der Flüssigkeit ist in den meisten Fällen nicht mehr horizontal. 24

Fig. 37.



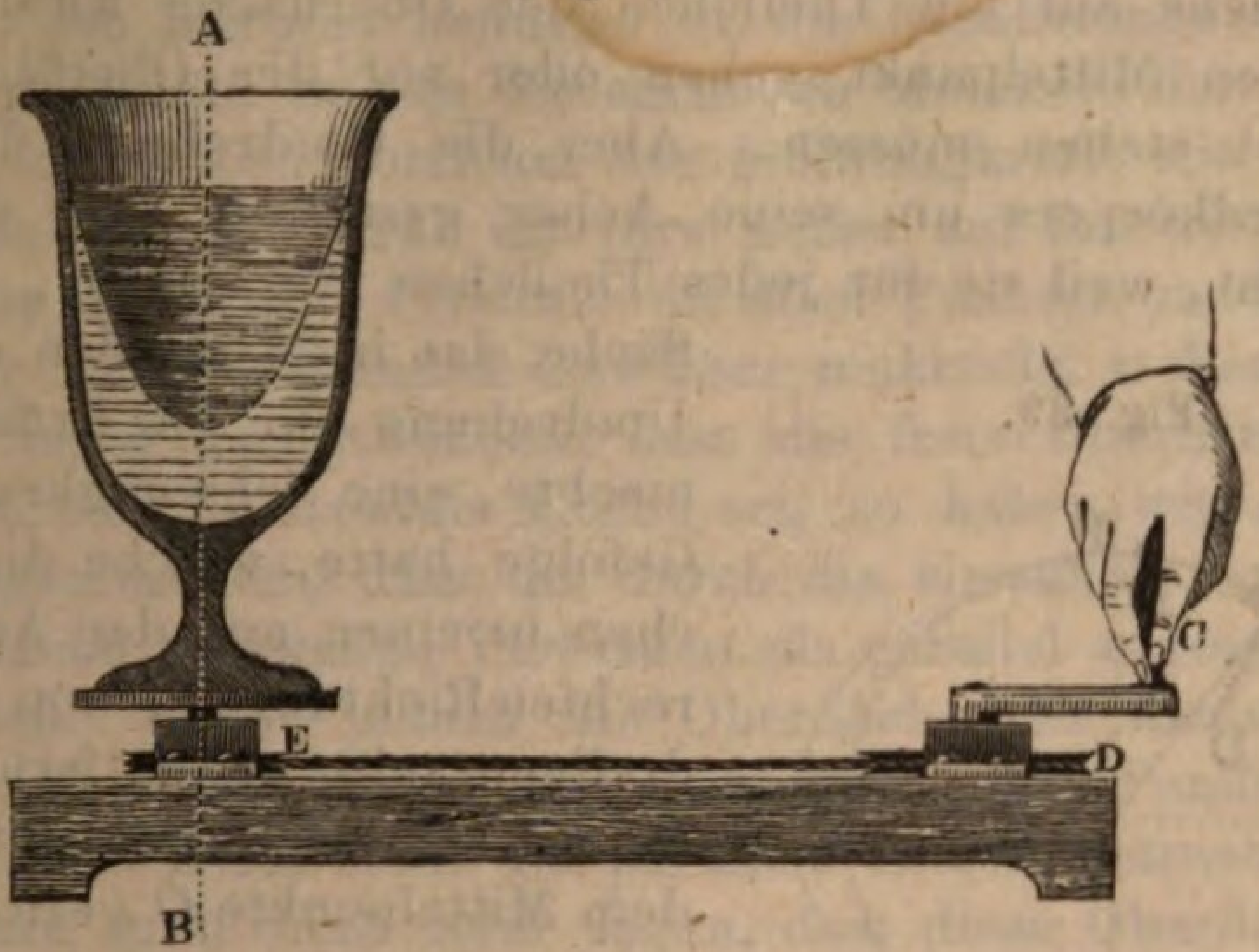
Es sei A, Fig. 37, ein Flüssigkeitstheilchen der Oberfläche, auf welches mehrere Kräfte einwirken, und nehmen wir an, dass alle diese Kräfte mit Ausnahme der Molekularkräfte zu einer einzigen in der Richtung AB wirkenden Resultirenden zusammengesetzt sind. Wenn dann das dem Punkte A zunächst gelegene kleine Flüssigkeitstheilchen der Oberfläche nicht zu

der Linie AB senkrecht steht, so kann die Flüssigkeit auch nicht im Gleichgewicht sein. Wenn nämlich überhaupt Gleichgewicht bestehen soll, darf diese Kraft AB nicht zur Wirksamkeit kommen, sie muss also von der Resultirenden der auf A wirkenden Molekularkräfte vollständig aufgehoben werden. Nun hat aber die Resultirende aus den auf den Punkt A wirkenden Molekularkräften nach §. 14 allemal eine Richtung AC, welche zu der freien Oberfläche senkrecht steht. Wenn daher die beiden Resultirenden AB und AC nicht zusammenfallen, so kann man die Kraft AB in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine in der Richtung AC wirkt und die andere senkrecht zu dieser Richtung steht. Die eine in der Richtung AC wirkende Seitenkraft kann allein von den Molekularkräften aufgehoben werden, die andere auf AC senkrecht stehende Kraft aber muss nothwendig eine Bewegung des Flüssigkeitstheilchens auf der Oberfläche zur Folge haben. Das Gleichgewicht kann also nur dann bestehen, wenn die Resultirende aller, auf die Flüssigkeitstheilchen der Oberfläche wirkender Kräfte senkrecht zu dieser Oberfläche steht. Wenn umgekehrt diese Resultirende senkrecht zu der freien Oberfläche der Flüssigkeit steht, so kann recht wohl das Gleichgewicht bestehen, da diese Resultirende in ihrem Bestreben, das Flüssigkeitstheilchen in das Innere der Flüssigkeit hinabzuziehen, Molekularkräfte hervorruft, welche sich der Bewegung des Flüssigkeitstheilchens widersetzen, und die sich zu einer Resultirenden zusammensetzen, welche der ersteren aus den übrigen Kräften herrührenden Resultirenden gleich und entgegengesetzt ist.

25 Als Beispiel hierzu nehmen wir ein Gefäss mit Wasser, welches sich um eine verticale Achse AB, Fig. 38, drehen lässt. Wie die Figur zeigt, wird die Bewegung dem Gefässe durch eine Kurbel und zwei Scheiben D, E mitgetheilt, welche durch einen Riemen ohne Ende mit einander verbunden sind. Während der Drehung des Gefässes um seine Achse AB wirken auf jedes Flüssigkeitstheilchen zwei Kräfte: die Schwerkraft und die Schwungkraft (I. §. 135), welche letztere das Theilchen in horizontaler Richtung von der Umdrehungsachse AB zu entfernen sucht. Damit also das Gleichgewicht der Flüssigkeit bestehe, muss die Resultirende aus der vertical wirkenden Schwerkraft und der horizontalen Schwungkraft nach dem vorigen Paragraphen für jedes Theilchen der Oberfläche senkrecht stehen zu der Fläche dieses Theilchens. Da nun aber diese Resultirende

nicht vertical sein kann, so kann auch die Oberfläche der Flüssigkeit nicht mehr horizontal sein, sie muss vielmehr eine solche

Fig. 38.

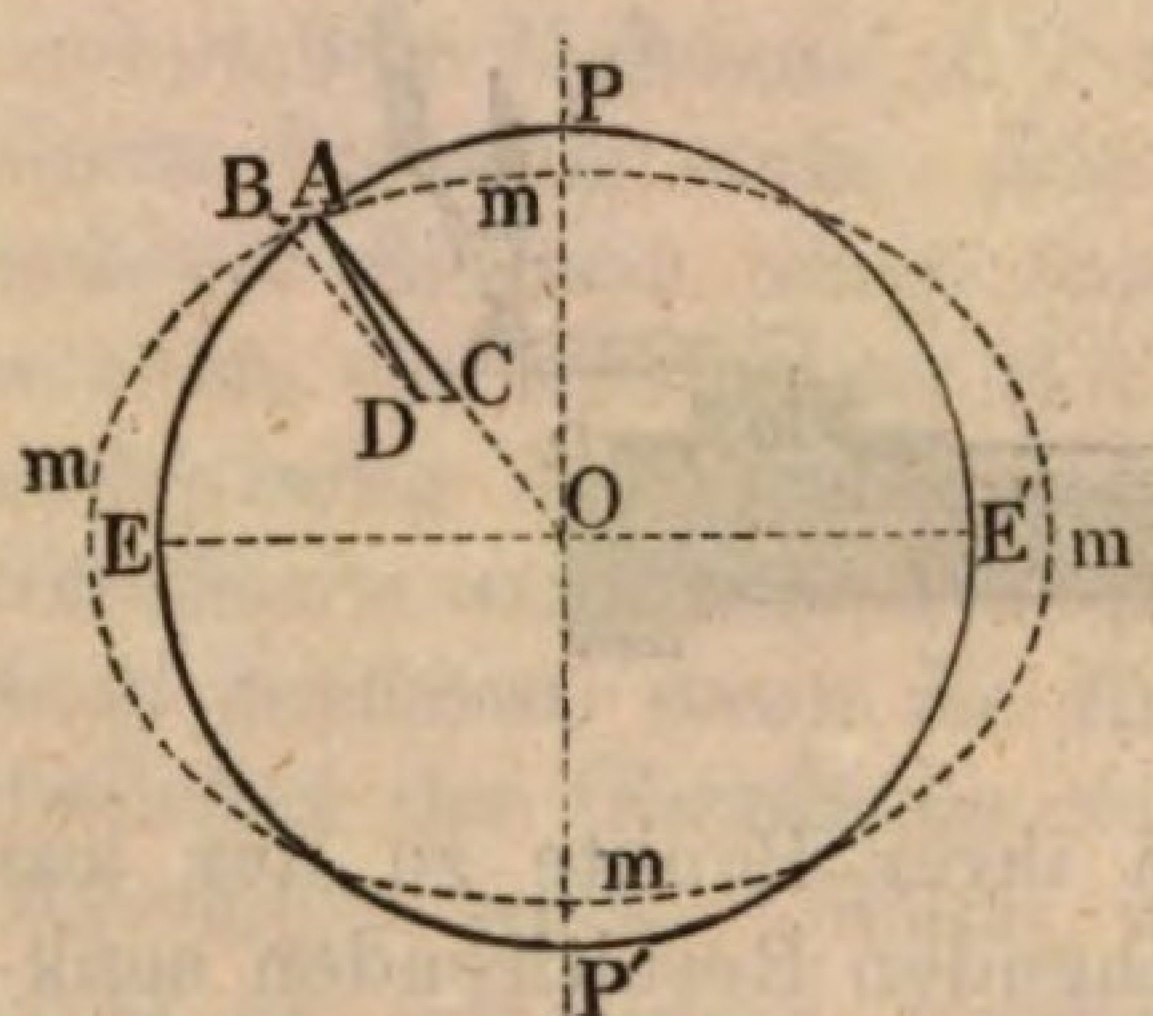


Form annehmen, dass sie in jedem ihrer Punkte zu der aus den beiden genannten Kräften entstehenden Resultirenden senkrecht steht. Da die Schwungkraft mit der Entfernung des Theilchens von der Umdrehungsachse zunimmt, so nähert sich diese Resultirende um so mehr der Horizontalen, je weiter die Flüssigkeitstheilchen von der Achse entfernt sind; die Oberfläche der Flüssigkeit nähert sich aus demselben Grunde um so mehr der Verticalen, je näher die Theilchen der Gefässwand liegen. Hieraus folgt, dass die freie Oberfläche durch die Drehung des Gefässes eine concave Form annimmt; je grösser die Geschwindigkeit der Drehung ist, desto stärker wird die Krümmung der Oberfläche.

Die gegenwärtige Gestalt der Erdoberfläche, von den Un- 26
gleichheiten des Bodens abgesehen, bietet ein anderes bemerkenswerthes Beispiel zu den vorigen Untersuchungen dar. Die geologischen Forschungen berechtigen zu der Annahme, dass der Erdkörper sich einst in einem feuerflüssigen Zustande befunden habe, aus welchem erst durch allmälige Abkühlung die gegenwärtige feste Kruste der Erdoberfläche entstanden ist. Wenn diese flüssige Masse sich nicht um eine Achse gedreht hätte und bloss der Wirkung der Molekularkräfte und der gegenseitigen Anziehung der materiellen Theilchen unterworfen gewesen wäre, so würde sie offenbar die Gestalt einer Kugel angenommen haben. Die einzelnen Flüssigkeiten von verschie-

dener Dichtigkeit würden sich in concentrischen Schichten nach dem Grade ihrer Dichtigkeit um den Mittelpunkt dieser Kugel gelagert haben, und die Resultirende aus allen einzelnen Kräften, welche auf ein Theilchen der Oberfläche wirkten, hätte durch den Mittelpunkt gehen oder auf der Oberfläche selbst senkrecht stehen müssen. Aber die Umdrehung dieses flüssigen Erdkörpers um seine Achse gestattete eine solche Gestalt nicht, weil sie für jedes Theilchen *A*, Fig. 39, der Oberfläche, das in 24 Stunden eine ganze Umdrehung um die Erdachse *P P'* machte, eine Schwungkraft *AB* im Gefolge hatte, welche dieses Theilchen in einer auf der Achse senkrechten Richtung *A B* von dieser Umdrehungsachse zu entfernen strebte. Diese Kraft setzte sich mit der nach dem Mittelpunkte *O* gerichteten Resultirenden aller auf das Theilchen *A* wirkender Anziehungskräfte zu einer einzigen Mittelkraft *AD* zusammen und nöthigte die flüssige Masse, eine andere Form anzunehmen, als wenn die Kraft *A C* allein vorhanden gewesen wäre. Wäre dieses nicht geschehen und hätte die Oberfläche die Gestalt einer Kugel behalten, so könnte die Endresultirende *AD* nicht mehr darauf senkrecht stehen, da schon *A C* dazu senkrecht ist. Die Erde musste daher in Folge der Umdrehung um ihre Achse und der dadurch erzeugten Schwungkraft eine abgeplattete Gestalt *m m* annehmen, und zwar derart, dass die durch die Pole gehenden Halbmesser sich verkürzten, die Aequatorialhalbmesser aber grösser wurden.

Fig. 39.



Wie wir bereits oben (I. §. 136) gesehen haben, besitzt die feste Erdkruste noch jetzt diese abgeplattete Gestalt. Die Meereswasser, welche einen grossen Theil der Erdoberfläche bedecken, sind noch jetzt in derselben Lage, worin sich die ganze flüssige Erdmasse ursprünglich befand; die Oberfläche dieser Gewässer ist daher ebenfalls an den Polen abgeplattet, am Aequator aufgeschwollen. Wenn die Erde plötzlich aufhörte sich zu drehen, und die feste Kruste ihre Gestalt beibehielte, so würden sich die Meereswasser sofort von dem Aequator nach den Polen hindrängen und die Kugelgestalt wieder anzunehmen streben.

Ebbe und Fluth. Die Verticale, deren Richtung durch das Bleiloth angegeben wird, ist die Linie, nach welcher die Schwerkraft auf einen Körper wirkt. Diese Kraft, die wir das Gewicht des Körpers nennen, ist die Resultirende aus allen Anziehungskräften, welche die einzelnen Moleküle der Erde auf den Körper ausüben, und aus der Schwungkraft, die in Folge der Umdrehung der Erde um ihre Achse auf ihn wirkt. Nach §. 24 muss daher die Verticale in allen Punkten zu der Oberfläche der ruhig stehenden Gewässer senkrecht stehen. Wenn wir nun bisher gesagt haben, dass die freie Oberfläche einer Flüssigkeit eine horizontale Ebene sei, so haben wir dabei zugleich angenommen, dass die durch die einzelnen Punkte dieser Oberfläche gezogenen Verticalen als parallel angesehen werden können. Wenn jedoch die Oberfläche der Flüssigkeit so gross ist, dass man diese einzelnen durch ihre Punkte gehenden Verticalen nicht mehr als parallele Linien betrachten darf, so darf man auch nicht mehr sagen, dass diese Oberfläche eine Ebene sei; es bleibt aber richtig, dass sie in jedem Punkte senkrecht steht zu der Richtung des Bleilothes oder der Verticalen. An der Oberfläche des Meeres oder eines ausgedehnten Binnensees kann man die Krümmung der Oberfläche sehr wohl bemerken. 27

Wenn irgend welche äussere Ursachen an demselben Orte der Erde die Richtung des Bleilothes verändern, so muss nothwendig auch die Richtung der Oberfläche ruhig stehender Gewässer an diesem Orte sich verändern, da sie stets zu der Richtung des Bleilothes senkrecht steht. Eine solche Ursache ist nun in der Anziehungskraft der Sonne und des Mondes wirklich vorhanden; diese beiden Kräfte wirken bei der täglichen Umdrehung der Erde um ihre Achse auf alle Theile ihrer Oberfläche anziehend ein, und zwar geschieht diese Anziehung nach dem Newton'schen Gesetze, demzufolge zwei Körper sich gegenseitig mit Kräften anziehen, die im geraden Verhältnisse zu den Massen und im umgekehrten Verhältnisse zu dem Quadrate der Entfernung beider Körper stehen. Die Sonne und der Mond ziehen daher den schweren Körper, der am Ende des Bleilothes aufgehängt ist, ebenso gut beständig an sich an, als sie auf die ganze Erde anziehend wirken. Diese Anziehungen in Verbindung mit jenen, welche die genannten Himmelskörper zugleich auf die Erde ausüben, bewirken, dass die Richtung des Bleilothes eine andere ist, als sie sein würde, wenn diese Himmelskörper nicht vorhanden wären. Hieraus folgt, dass die

Richtung des Bleilothes etwas verschieden ist von derjenigen, die der Faden des Lothes annehmen würde, wenn letzteres allein unter dem Einflusse der Anziehungskraft der Erde und der Schwungkraft stände. Aber die Sonne und der Mond haben nicht zu jeder Zeit zu dem Faden des Bleilothes einen gleichen Stand; bald stehen beide östlich, bald beide westlich vom Faden, oder es steht der eine östlich, der andere westlich von ihm, dabei verändert jeder dieser Himmelskörper im Laufe eines Tages seine Stelle am Himmelsraume. Hieraus folgt, dass in Folge der Einwirkung von Sonne und Mond der Faden des Bleilothes aus seiner normalen Richtung bald nach der einen, bald nach der anderen Seite abgelenkt wird, und dass diese Schwankungen in gewissen Zeitabschnitten regelmässig wiederkehren.

Die Veränderungen, welche in den verschiedenen Stunden eines Tages zufolge der eben besprochenen Einwirkungen in der Richtung des Bleilothes stattfinden, sind so gering, dass auch die sorgfältigste Beobachtung sie nicht unmittelbar wahrnehmen kann. Die Oberfläche der ruhig stehenden Gewässer aber, die zu jeder Zeit zu der Richtung des Bleilothes senkrecht steht, muss an diesen Schwankungen theilnehmen, sie muss sich daher bald auf die eine, bald auf die andere Seite neigen. Der Wasserspiegel eines Sees z. B. muss sich in Folge hiervon an einem seiner Ufer abwechselnd heben und senken, während er an dem entgegengesetzten Ufer gleichzeitig sich senkt und hebt. Aber auch diese Schwankungen in der Oberfläche des Wassers sind kaum wahrnehmbar, wenn dieselbe nur eine geringe Ausdehnung hat, wie bei den Binnenseen, und dieses um so weniger, als die durch die Luftströmungen und Winde verursachten Bewegungen der Wasserfläche sich mit jenen aus der Wirkung von Sonne und Mond herrührenden Schwankungen vermischen. In den grossen Meeren machen sich dagegen diese periodischen Schwankungen der Wasserfläche entsprechend den Veränderungen in der Richtung des Bleilothes sehr auffällig bemerkbar; es senkt und hebt sich nämlich an den Meeresküsten die Oberfläche des Wassers in einem Zwischenraume von beinahe 25 Stunden zweimal in Folge der Anziehungen, welche die Sonne und der Mond auf das Wasser ausüben. Man nennt diese periodischen Senkungen und Hebungen des Meeres Ebbe und Fluth. Zur Zeit des Vollmondes und des Neumondes unterstützen sich die Wirkungen der Sonne und des Mondes und es entstehen dann die grösseren Fluthen; zur Zeit des ersten und letzten Viertels heben sich da-

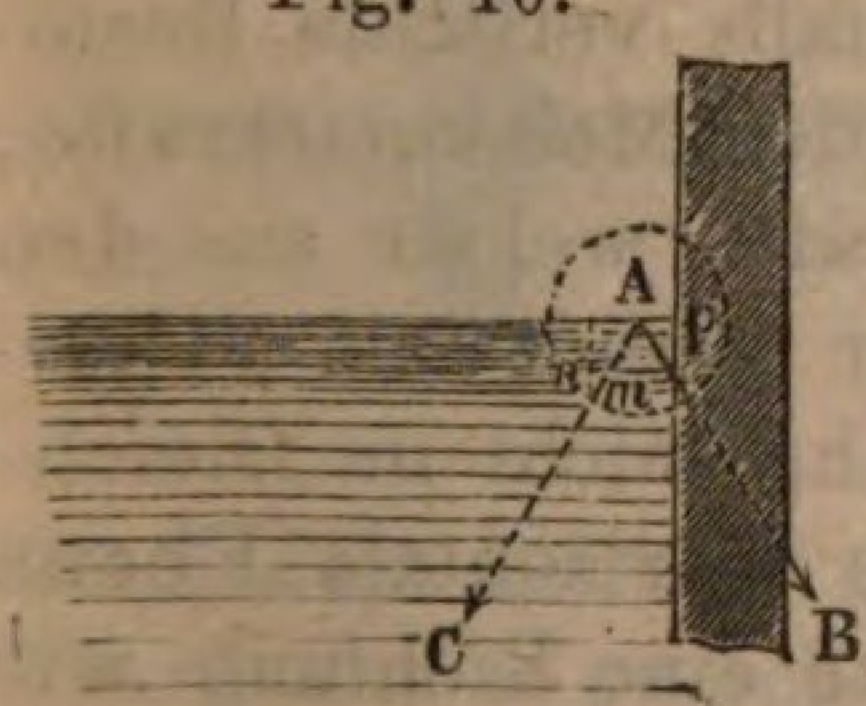
gegen diese Wirkungen theilweise auf und es entstehen die niedrigsten Fluthen.

Capillarität. Wenn man die Oberfläche des Wassers in 28
einem Glasgefässe aufmerksam betrachtet, so sieht man, dass dieselbe fast überall eine Ebene ist, nur in der Nähe der Gefässwand hat sie eine andere Gestalt.

Als wir nachwiesen (§. 13), dass die freie Oberfläche einer schweren Flüssigkeit eine horizontale Ebene sein müsse, hoben wir hervor, dass für jedes Theilchen der Oberfläche die Resultirende aus den Molekularwirkungen aller benachbarten Theilchen zu dieser Oberfläche senkrecht stehen müsse. Dieses findet aber nicht mehr statt für die Theilchen, welche sehr nahe an der Gefässwand liegen, und diese bilden daher auch nicht, wie wir sogleich sehen, eine wagerechte Ebene.

Nehmen wir an, dass in Fig. 40 die Oberfläche der Flüssigkeit bis zur Wand selbst eine horizontale Ebene sei und untersuchen wir, ob unter dieser Annahme das Gleichgewicht der Flüssigkeit wirklich bestehen könne. Es sei *A* ein Punkt in der Oberfläche der Flüssigkeit nahe an der Gefässwand gelegen, so können wir uns um *A* eine Kugel von der Ausdehnung beschrieben denken, dass alle Moleküle, die überhaupt auf das Theilchen *A* einwirken können, innerhalb dieser Kugeloberfläche liegen; man nennt eine solche Kugel die **Wirkungssphäre** des Massentheilchens *A*. Wenn diese Kugeloberfläche nur Flüssigkeitstheilchen enthält, so bleibt das oben Gesagte richtig, wonach in Folge der Symmetrie die Resultirende aller auf das Theilchen *A* wirkender Molekularkräfte senkrecht zu diesem Theilchen *A* stehen muss. Liegt aber der Punkt *A* sehr nahe an der Gefässwand, so reicht die Wirkungsphäre dieses Theilchens bis in die Masse dieser Wand hinein, so dass es sowohl der Wirkung der innerhalb der Sphäre liegenden Flüssigkeitstheilchen, als auch der entsprechend gelegenen Wandtheilchen unterliegt. Eine Symmetrie der hier auftretenden Kräfte ist daher nicht mehr vorhanden und man kann nicht mehr sagen, dass die Resultirende aller auf das Theilchen *A* wirkender Molekularkräfte zu der Oberfläche der Flüssigkeit senkrecht stehe oder, da wir die Oberfläche als horizontal angenommen haben, vertical sei.

Fig. 40.



Nehmen wir nun an, dass der in der Wirkungssphäre von A gelegene Wandtheil, so weit er mit der Flüssigkeit in Berührung steht, eine verticale Ebene bildet, und legen wir durch die Flüssigkeit zur Linken von A eine zu der ebenen Wandstelle parallele, also verticale Ebene derart, dass der Punkt A von dieser Ebene und der Wand gleich weit absteht, so wird die innerhalb der Wirkungssphäre des Theilchens A befindliche Flüssigkeit in zwei Theile n, m getheilt. Die Molekularwirkungen, welche von den in m liegenden Molekülen ausgehen, haben wegen der Symmetrie ihrer Lage offenbar eine verticale Resultirende; dagegen geben die zur Abtheilung n gehörenden Flüssigkeitsmoleküle, sowie die in p liegenden Wandtheilchen, die ebenfalls auf A wirken, eine Resultirende, die im Allgemeinen eine schiefe Richtung haben wird. Es ist klar, dass je nach der Natur der Flüssigkeit und der Beschaffenheit der Wand diese Resultirende bald eine Richtung haben kann, wie AB, bald eine wie AC. In dem einen, wie in dem anderen Falle wirken auf das Flüssigkeitstheilchen A 1. sein eigenes Gewicht in einer verticalen Richtung; 2. die ebenfalls verticale Resultirende der aus der Flüssigkeit m herrührenden Molekularkräfte; 3. die schiefe Resultirende der Molekularkräfte, welche aus den Molekularkräften der Flüssigkeit n und der Wandtheile p herrührt. Das Flüssigkeitstheilchen A kann daher nicht im Gleichgewichte und seine Oberfläche nicht eine horizontale Ebene sein. Wenn die dritte der genannten Kräfte eine Richtung wie AB hat, so wird das Flüssigkeitstheilchen A gegen die Wand gedrängt, es findet eine Aufhäufung der Flüssigkeit in der Nähe der Wand statt und die Oberfläche erhebt sich an dieser Stelle (Fig. 41). Wenn aber diese dritte Kraft eine Richtung hat wie AC, so entfernt sich das Theilchen A von der Wand; die Flüssigkeit wird von der Wand zurückgedrängt und die Oberfläche senkt sich an dieser Stelle, wie in Fig. 42.

Fig. 41.

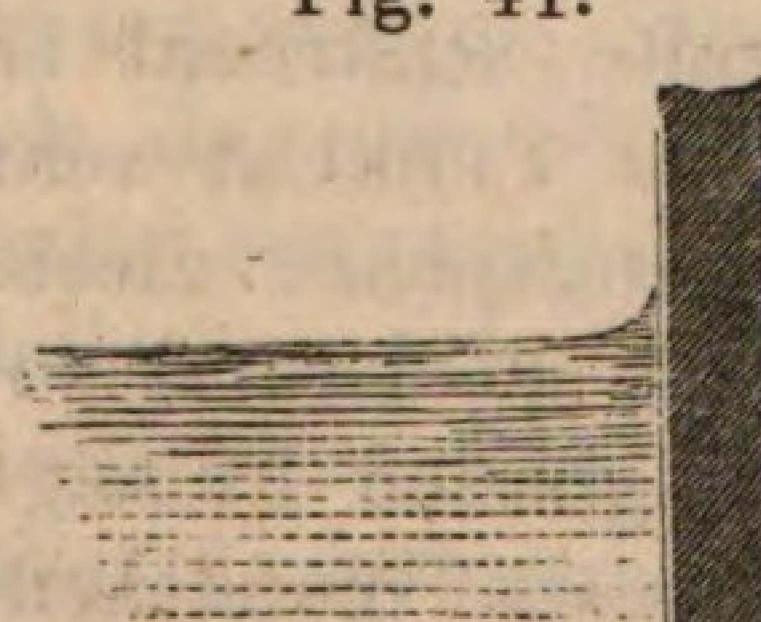
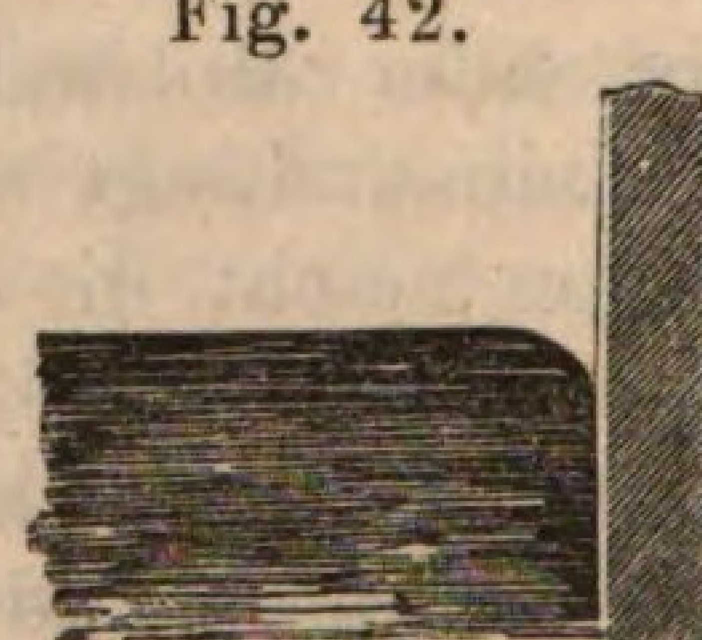


Fig. 42.



Der erstere Fall tritt ein, wenn man Wasser in ein Gefäss von Glas giesst; das Wasser steigt am Rande in die Höhe und nimmt hier eine concave Form an; ja es wird so zu sagen von der Gefässwand angezogen und bleibt theilweise an der Wand haften, wenn man es aus dem Gefässe ablässt. Dieser Fall

tritt allemal dann ein, wenn die Flüssigkeit die Gefässwand benetzt.

Ein Beispiel zu dem zweiten Fall haben wir, wenn wir Quecksilber in ein Gefäss von Glas giessen. Die Oberfläche des Quecksilbers nimmt in der Nähe der Gefässwand eine convexe Gestalt an und die Flüssigkeit wird von der Wand abgedrängt. Lässt man die Flüssigkeit aus dem Gefässe ab, so bleibt keine Spur davon an dem Glase haften. Eine solche Depression der Oberfläche am Rande, wo sie mit der Wandfläche in Berührung kommt, findet allemal dann statt, wenn die Wand von der Flüssigkeit nicht benetzt wird.

Taucht man zwei verticale und parallele Glasscheiben *A*, *B*, 29
Fig. 43, mit ihrem unteren Theile in ein Gefäss mit Wasser, so steigt dasselbe wie vorhin auf jeder Seite der Glasscheibe etwas in die Höhe. Sind die Scheiben weit genug von einander entfernt, so wird die Form, welche die Oberfläche des Wassers an der einen Scheibe annimmt, durch die andere Scheibe gar nicht verändert; in diesem Falle ist die Oberfläche *C* zwischen den beiden gehobenen Theilen *m*, *n* eine wagerechte Ebene und liegt mit den anderen Oberflächen *E*, *D* in einem und demselben Niveau. Wenn man aber die beiden Glasplatten einander so nahe bringt, dass kein Theil von *C* mehr eben bleibt und die beiden concaven Oberflächen *m*, *n* in einander gerathen, Fig. 44, so greift der bereits gehobene Theil *m* mit dem ebenfalls durch die Platte *B* gehobenen Theile *n* in Punkten zusammen, die höher liegen, als die frühere horizontale Ebene *ED*; in Folge hiervon wird der Theil *m* höher an der Glaswand aufsteigen, als wenn er, wie in Fig. 43, mit seinem unteren Ende mit einer tiefer stehenden horizontalen Flüssigkeitsschicht in Verbindung stände. Dasselbe findet statt für den Theil *n* mit Bezug auf *m*, so dass diese beiden Flüssigkeitstheile in Folge ihrer gegenseitigen Einwirkung auf einan-

Fig. 43.

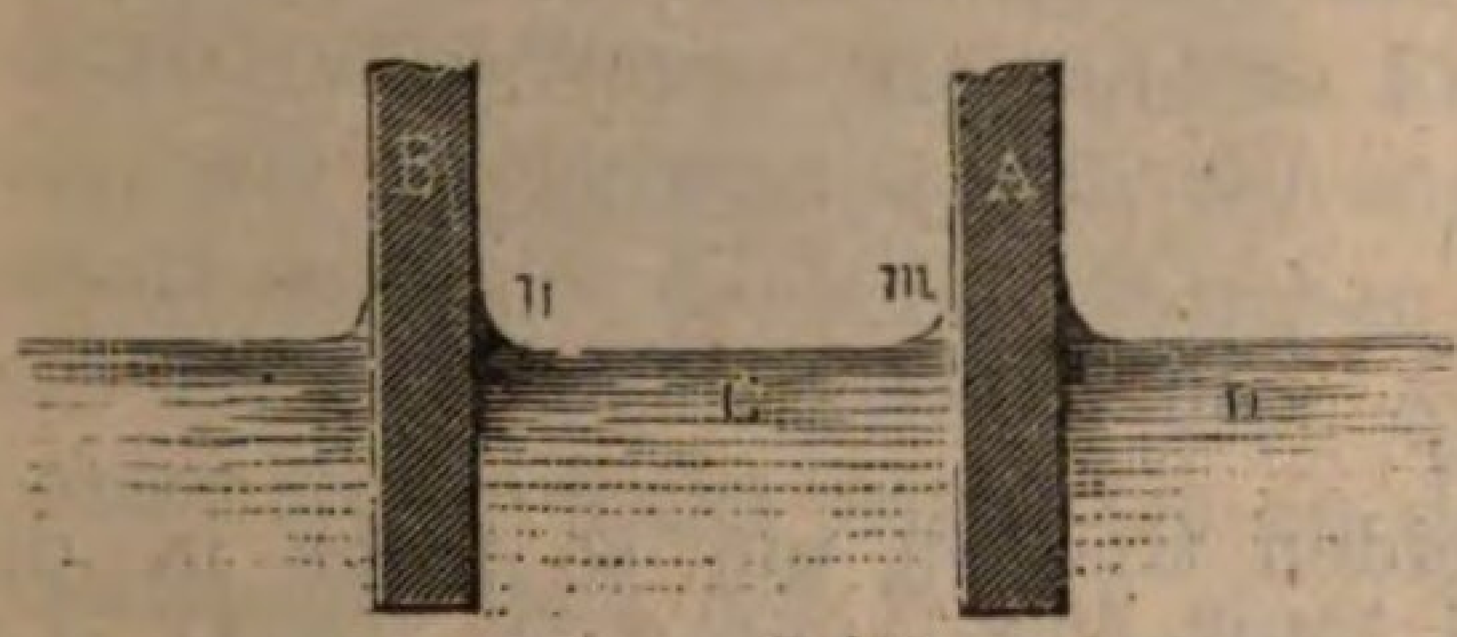
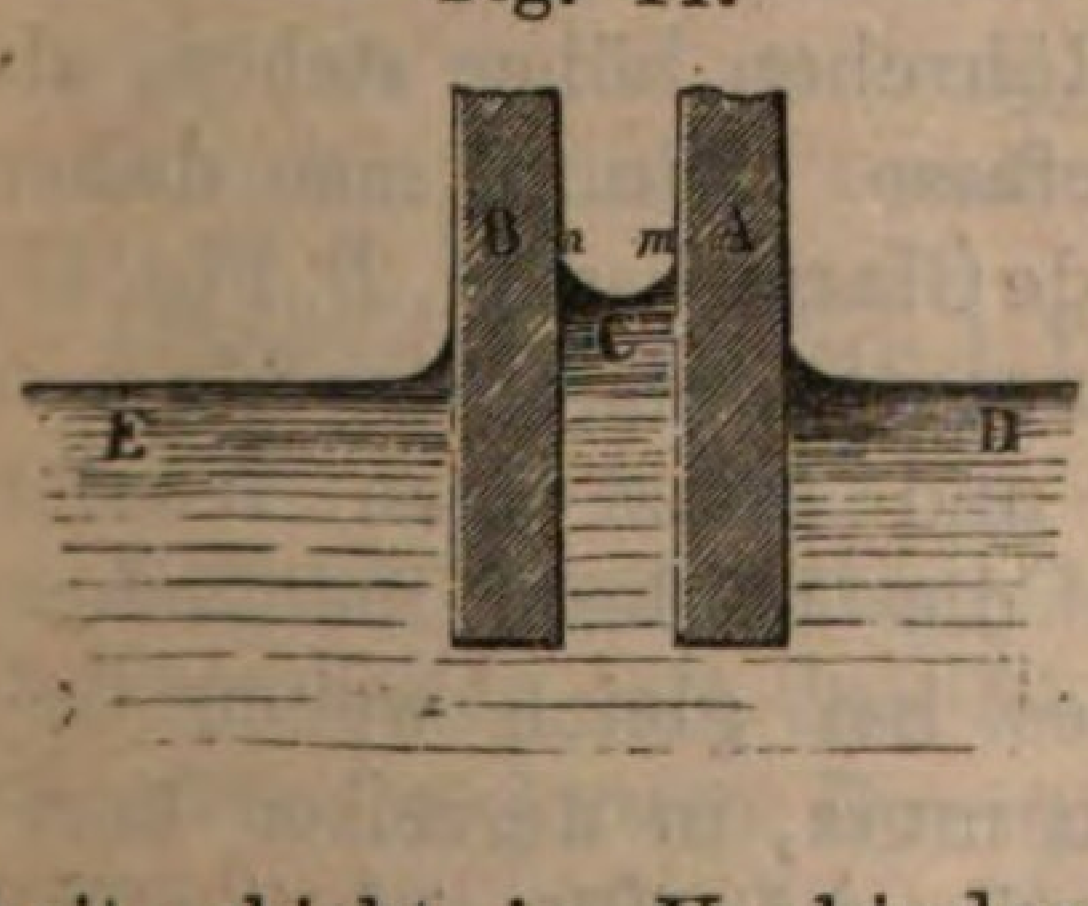


Fig. 44.



der höher hinaufsteigen, als wenn die beiden Glastafeln weiter von einander entfernt sind; der tiefste Punkt *C* der zwischen den beiden Platten enthaltenen Flüssigkeit liegt dem entsprechend höher, als die beiden Niveaus *E*, *D* ausserhalb der Gläser. Es ist klar, dass diese Erscheinung um so stärker hervortritt, je mehr man, wie in Fig. 45, die beiden Glastafeln einander nähert. Wenn man daher die Platten so aneinander hält, dass sie, wie in Fig. 46, einen sehr spitzen Winkel einschliessen

Fig. 45.

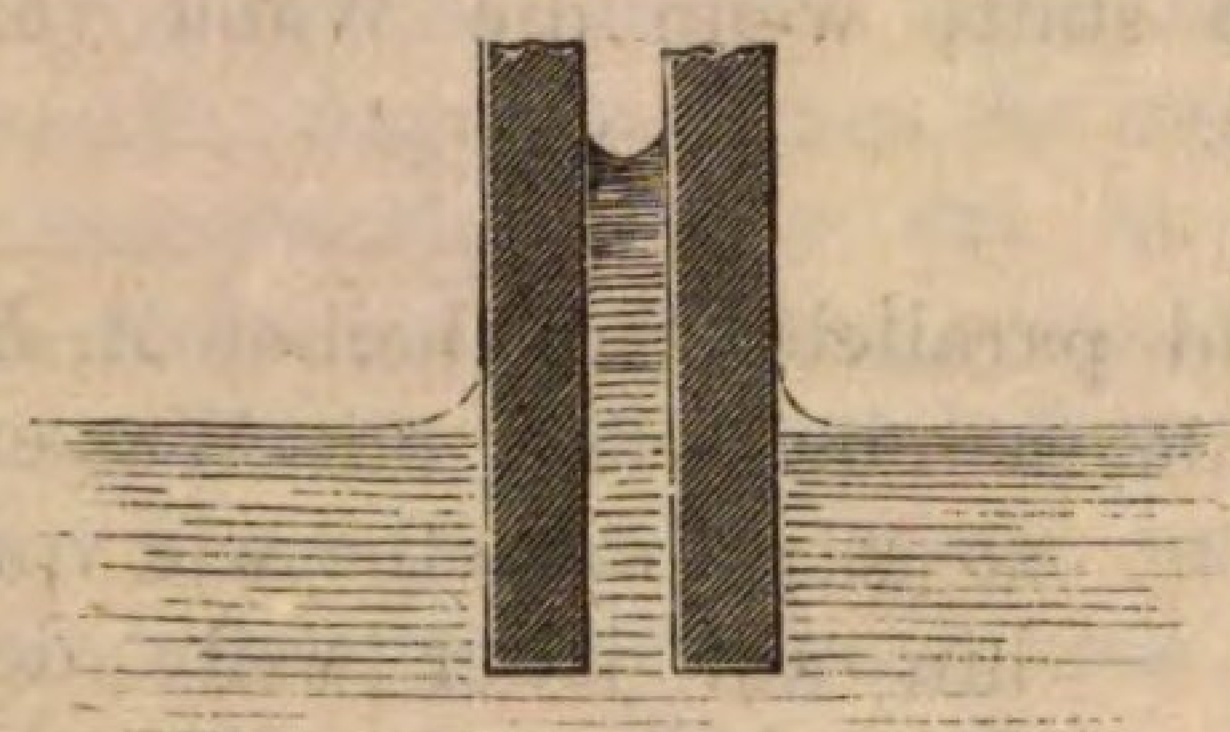
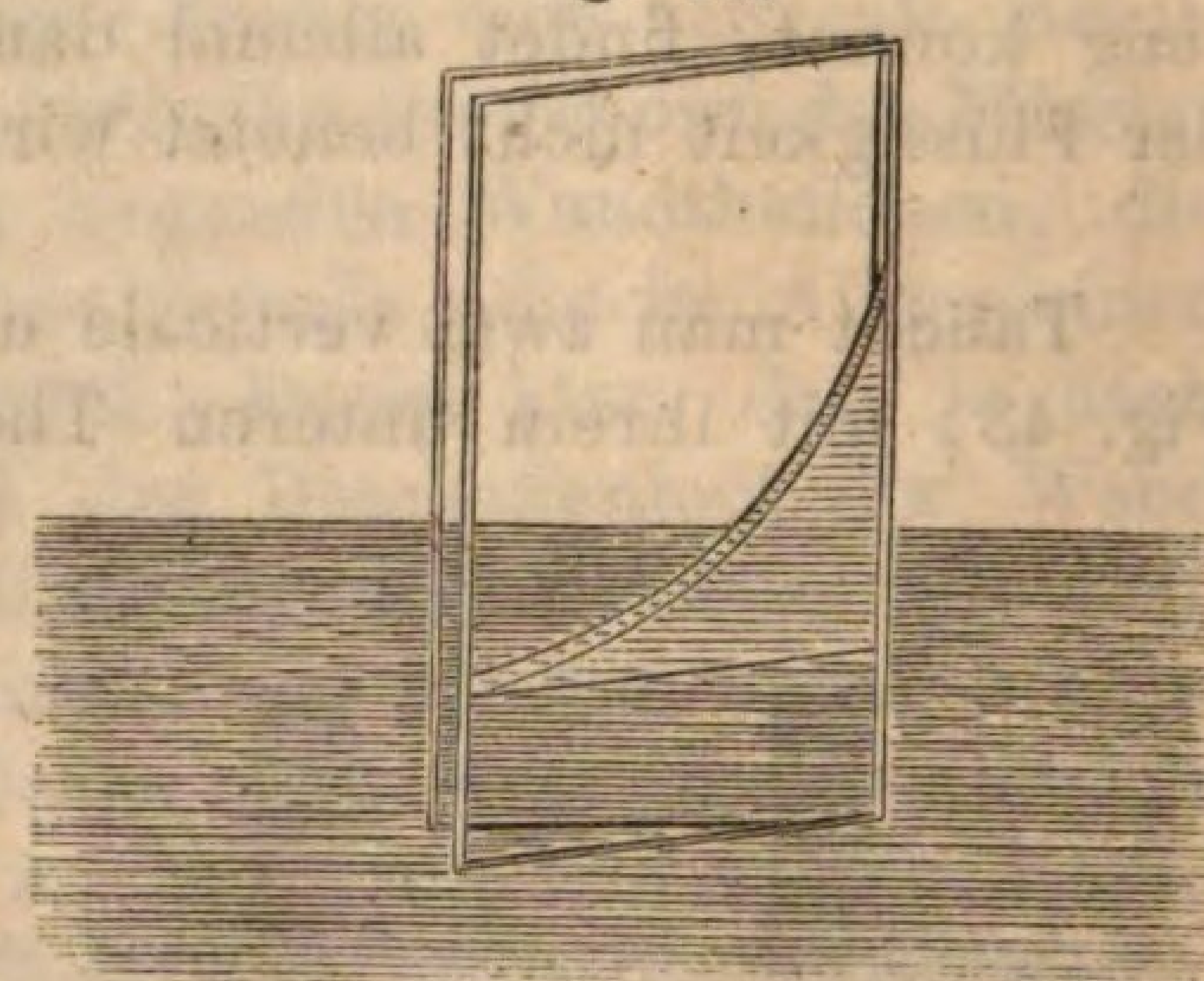


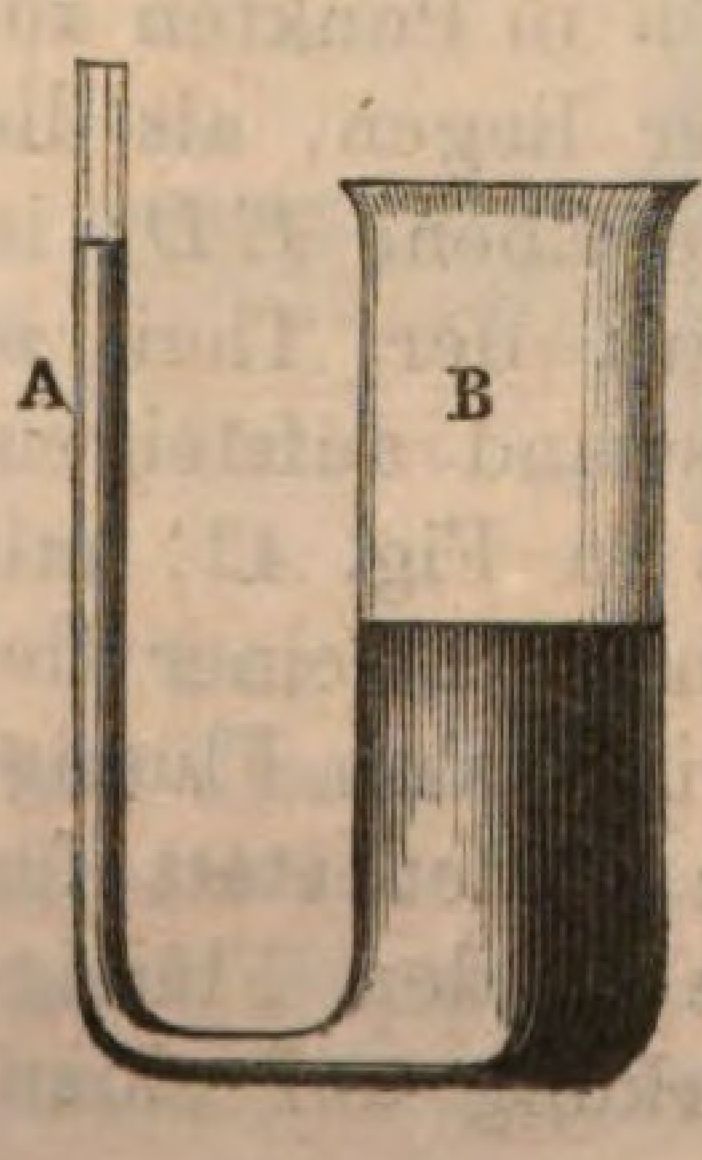
Fig. 46.



und sie in dieser Weise in verticaler Stellung in das Wasser eintaucht, so steigt die Flüssigkeit zwischen den beiden Gläsern um so mehr in die Höhe, je näher sich dieselben stehen, das heisst, sie erhebt sich gegen die gemeinschaftliche Linie, in welcher die Tafeln zusammenstossen, immer mehr und senkt sich von hier aus nach dem Rande der Gläser in dem Maasse, als sich diese von einander entfernen.

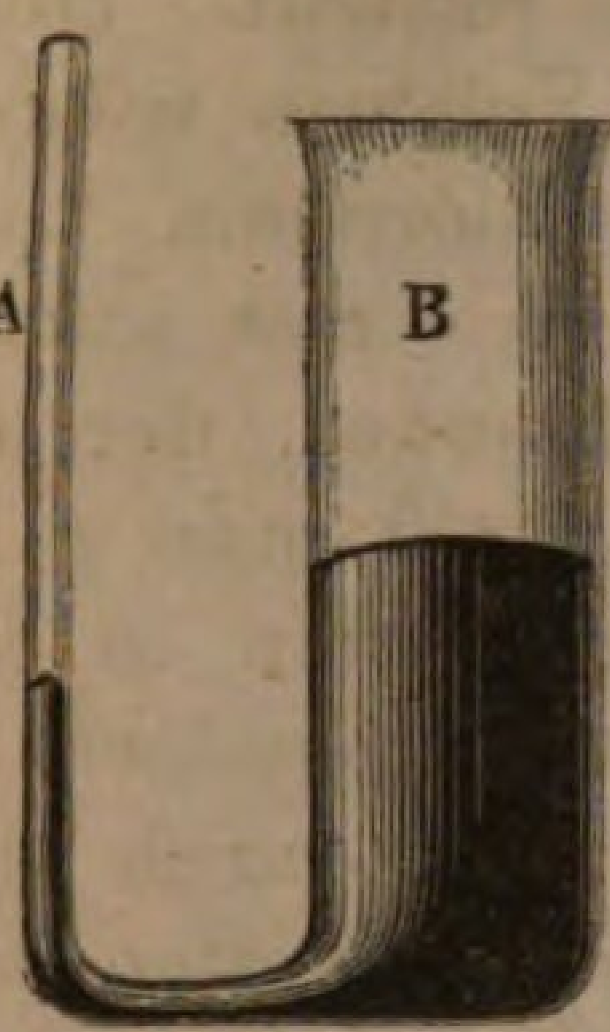
30 Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen sich, wenn man statt der ebenen Glastafeln Glasröhrchen von sehr kleinem Durchmesser nimmt; auch hier wirken die Glaswände des Röhrchens auf die Flüssigkeitstheilchen ein, so dass diese in einem solchen Röhrchen höher stehen, als in dem äusseren Gefässe. Nimmt man daher zwei communicirende Glasgefässe *A*, *B*, Fig. 47, von denen das eine *A* einen sehr kleinen Durchmesser hat, und giesst man Wasser hinein, so stehen die beiden Oberflächen nicht mehr, wie es bei gleich weiten Gefässen der Fall sein muss, in derselben horizontalen Ebene, sondern die Flüssigkeit steht in dem engen Röhrchen *A* merklich höher, als in *B*.

Fig. 47.



Das Umgekehrte tritt ein, wenn man in dieselben Gefässe *A*, *B*, Fig. 48, Quecksilber oder eine andere Flüssigkeit giesst, welche das Material der Gefässe nicht benetzt; in diesem Falle steht die Flüssigkeit in dem engen Röhrchen *A* tiefer als in dem weiteren Gefässe *B*.

Fig. 48.



Man nennt diese engen Röhrchen, in denen sich die genannten Elevations- oder Depressions-Erscheinungen zeigen, wenngleich ihr innerer Durchmesser noch weit grösser ist, als der eines Haares, Haarröhrchen und nennt daher alle hierauf bezüglichen Wirkungen Haarröhrchen- oder Capillaritäts-Wirkungen.

Die Capillarität spielt eine bedeutende Rolle im gewöhnlichen Leben wie im Haushalte der Natur. Sie ist es, welche bewirkt, dass Wasser und andere Flüssigkeiten in porösen Körpern, wie in Löschpapier, in Schwämmen, in Holz u. s. w. sich weit über die Stelle hinauf erheben und verbreiten, bis zu welcher die Flüssigkeit reicht; dass die Feuchtigkeit des Bodens in einer Mauer nicht selten bis an den obersten Theil derselben hinaufsteigt; dass der Docht einer Lampe oder Kerze das Oel oder das geschmolzene Fett aufsaugt u. s. w. Auch ist wohl nicht daran zu zweifeln, dass bei dem Aufsteigen des Saftes in lebenden Pflanzen die Wirkung der Capillarität mit im Spiele ist, während andererseits diese Kraft allein nicht die Ursache der Saftbewegung sein kann, da jene die aufsteigende Bewegung des Saftes wohl einleiten, keineswegs aber fortwährend unterhalten und noch weniger den Saft selbst bis zu der bedeutenden Höhe heben kann, bis zu welcher wir ihn ansteigen sehen.

2. Gleichgewicht und Druck der luftförmigen Körper.

Expansivkraft der Gase. Die luftförmigen Körper oder 31
die Gase haben mit den Flüssigkeiten die leichte Verschiebbarkeit und die grosse Beweglichkeit der Theilchen gemein, sie unterscheiden sich aber sehr wesentlich dadurch, dass die Flüssigkeiten fast ganz incompressibel sind, die Luftarten dagegen sich sehr leicht zusammendrücken lassen. Uebt man auf eine

rings eingeschlossene Luftmasse von aussen einen Druck aus, so weicht sie sehr leicht diesem Drucke aus und ihr Volumen wird je nach der Grösse des Druckes bald auf die Hälfte, auf ein Drittel u. s. w. des ursprünglichen Volumens reducirt. Hört der Druck auf, so nimmt die Luft das frühere Volumen wieder ein. Noch mehr; gestattet man einer eingeschlossenen Luft einen grösseren Raum einzunehmen, so thut sie dieses sofort, indem sie sich ausdehnt und jeden Theil des Raumes, der ihr überhaupt offen und zugänglich ist, einnimmt. Stellt man z. B. eine mit einem beliebigen Gase gefüllte Flasche offen in ein Zimmer, so bleibt das Gas nicht in der Flasche, sondern es verlässt dieselbe und verbreitet sich in kurzer Zeit durch alle Räume des Zimmers. Während man bei den Flüssigkeiten immer noch einen gewissen, wenn auch kleinen Grad des Zusammenhaltens und der gegenseitigen Anziehung der Theilchen wahrnimmt, so ist diese bei den Luftarten nicht mehr vorhanden. Im Gegentheil bemerken wir bei den Gasen das Bestreben, einen immer grösseren Raum einzunehmen; es ist also nicht nur jede Attraction zwischen den einzelnen Molekülen eines Gases aufgehoben, sondern Repulsion ist an die Stelle getreten.

Man nennt dieses Bestreben der Luftarten, sich immer mehr auszudehnen, ihre Expansivkraft. Wird das Gas in diesem Bestreben gehindert, kann es sich wegen eines äusseren Gegendrucks oder durch die sperrenden Wände des Gefässes nicht mehr ausdehnen, so übt es gegen die Wände einen Druck aus, der sich von dem Gewichte dadurch unterscheidet, dass er nach allen Richtungen, also auch von unten nach oben und seitwärts gerichtet ist, während der durch das Gewicht herbeigeführte Druck nur vertical von oben nach unten wirkt.

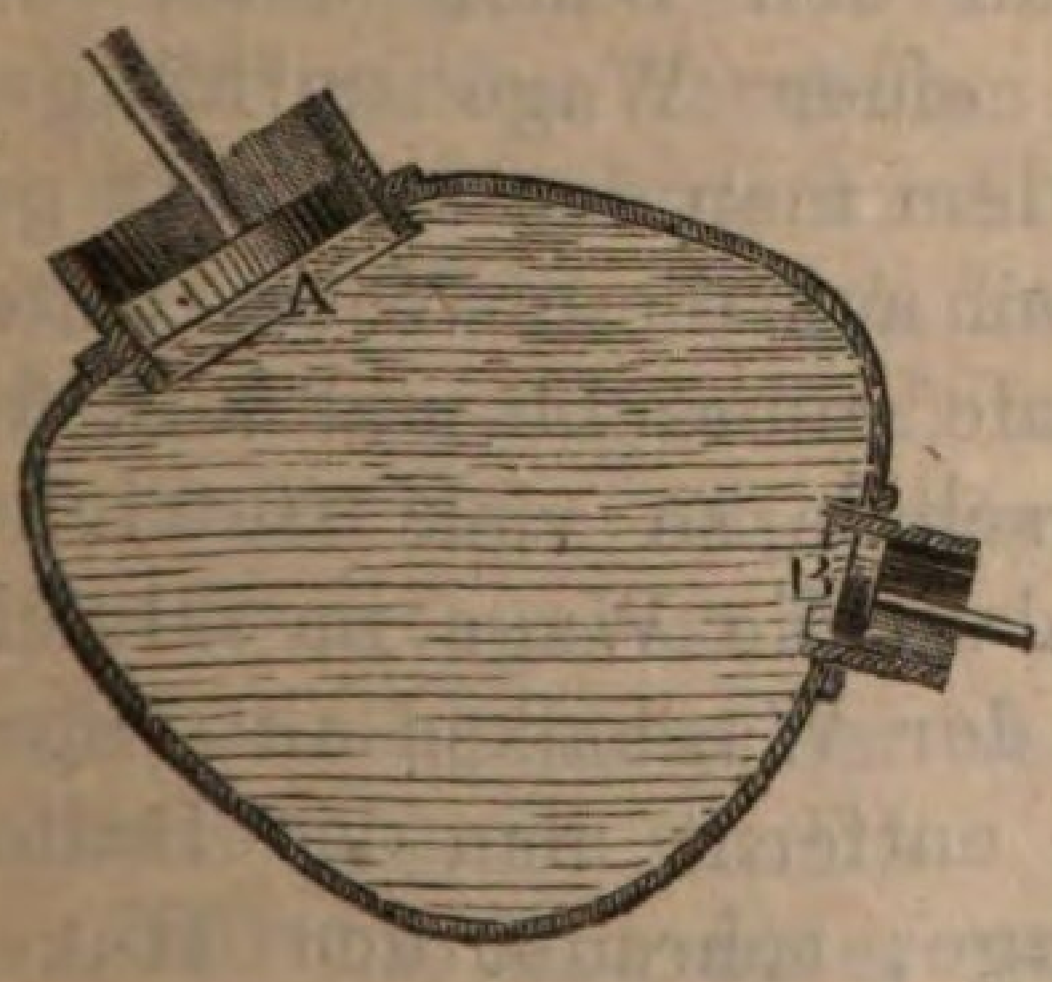
Man kann die Expansivkraft der Luft sehr leicht nachweisen, wenn man eine schlaffe Thierblase oder einen Beutel von dünnem Kautschouk, der nur wenig Luft enthält, fest zubindet und unter eine Glasglocke bringt, aus welcher man mit Hülfe einer Luftpumpe die umgebende Luft entfernen kann. In dem Maasse, wie man die Luft aus der Glasglocke wegschafft, und damit zugleich den Druck beseitigt, der von aussen auf die Blase wirkte, dehnt sich die in der Blase eingeschlossene Luft aus und bläht dieselbe so stark auf, dass sie ganz straff gespannt ist. Lässt man später die äussere Luft wieder in die Glasglocke einströmen, so überwindet ihr Druck den schwächeren Druck der in der Blase enthaltenen Luft und presst dieselbe auf das ursprüngliche Volumen wieder zusammen.

Fortpflanzung des Druckes in den Gasen. Da die Luftarten die leichte Verschiebbarkeit der Theilchen mit den Flüssigkeiten gemein haben, so gelten die meisten über den Druck der Flüssigkeiten abgeleiteten Gesetze auch für die Luftarten. Aber die Eigenschaften der Zusammendrückbarkeit und der Expansivkraft, welche den Gasen allein zukommen, bringen einige besondere Erscheinungen zu Stande, die wir noch im Einzelnen untersuchen wollen. 32

Denken wir uns, dass eine in einem Gefässe eingeschlossene Luftmasse ausschliesslich den Molekularwirkungen ihrer einzelnen Theilchen ausgesetzt ist, so befindet sie sich unter denselben Umständen, wie die Flüssigkeiten, mit denen wir uns in den §§. 1 bis 4 näher beschäftigt haben. Eines ist jedoch noch zu beachten, bevor wir die für die Flüssigkeiten gefundenen Resultate auf die Gase übertragen. Bei den Flüssigkeiten durfte man eine ganz beliebige Kraft auf die einen Theil der Gefässwand bildenden Kolben (Fig. 2, 3) wirken lassen; das Gleichgewicht trat in allen Fällen ein, wenn man einen der Grösse der Kolbenflächen entsprechenden Gegendruck anwandte. Bei einem Gase ist dagegen der auf jeden dieser Kolben auszuübende Druck ganz abhängig von der Expansivkraft dieses Gases. Wenn dieser Druck nicht gross genug ist, so stösst das Gas durch seine Expansivkraft den Kolben zurück und entweicht aus dem Gefässe; wenn er zu gross ist, so wird das Gas comprimirt und der Kolben dringt in das Gefäss ein. Wenn wir hierauf Rücksicht nehmen, und dann die in den §§. 1 bis 4 enthaltenen Schlussfolgerungen wiederholen, so kommen wir zu folgenden Resultaten:

1. Wenn auf eine in einem Gefässe eingeschlossene Luftmasse vermittelst zweier dicht schliessender Kolben A, B (Fig. 49) ein Druck ausgeübt wird, so bleibt die Luft im Gleichgewicht, wenn sich diese Druckkräfte verhalten wie die Oberflächen der beiden Kolben. Der Druck, den ein Kolben B auf die Luft ausübt, pflanzt sich nach allen Richtungen gleichmässig fort, und jedes Flächenstück A der sperrenden Wand erhält einen Druck, welcher der Grösse dieser Fläche proportional ist. Ist A zwei-, dreimal so gross als B, so ist der

Fig. 49.



Druck, den A empfängt, zwei-, dreimal so gross, als der von B ausgeübte Druck war.

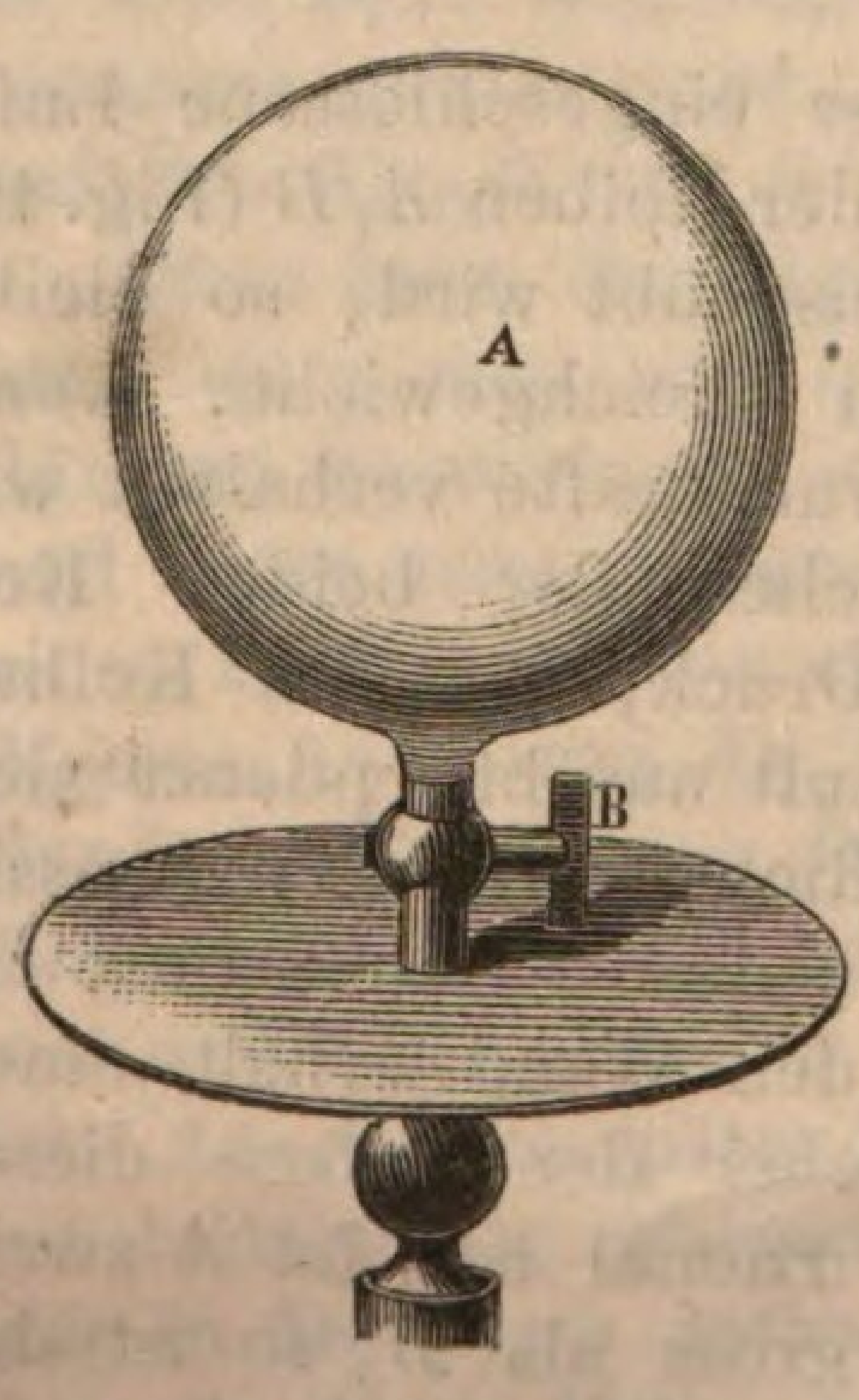
2. Wenn eine Luftmasse in einem Gefässe eingeschlossen ist, so ist der Druck, den dieselbe durch ihre Expansivkraft auf die einzelnen Theile der Wand ausübt, proportional zu der Grösse der gedrückten Fläche.

3. Wenn man durch einen Punkt A im Innern einer im Gleichgewicht befindlichen Luftmasse mehrere Ebenen legt, so ist der auf die Einheit der Fläche bezogene Druck gegen jede Ebene gleich gross; eine jede dieser Druckkräfte ist das, was man den Druck für den Punkt A nennt. Dieser Druck ist eben so gross, wie der Druck gegen jede Flächeneinheit in der umgebenden Wand.

33 **Die Gase sind schwer.** Die in dem vorigen Paragraphen gemachte Voraussetzung, dass die Gase ausschliesslich den Molekularwirkungen ihrer einzelnen Theile unterworfen seien, findet in der Wirklichkeit nicht statt, da die Gase eben so gut, wie die festen und die flüssigen Körper, der Wirkung der Schwere unterliegen, und in Folge hiervon ein jedes Gastheilchen auf die benachbarten Theilchen einen Druck ausübt.

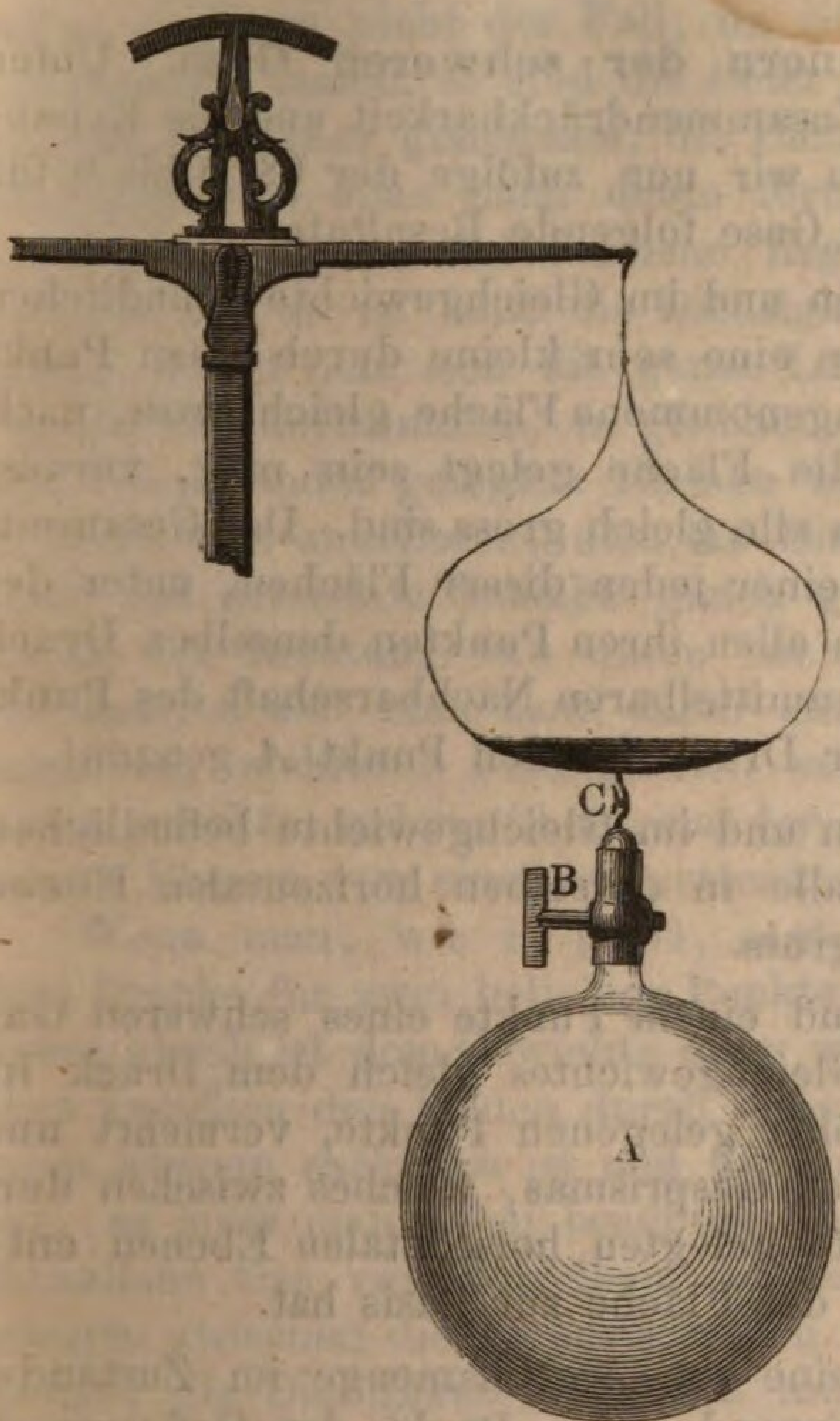
Da man ein Gas nicht wie jeden anderen Körper fallen lassen kann, so kann man auch nicht auf die gewöhnliche Weise nachweisen, dass es schwer ist; man verfährt daher zu diesem Zweck auf folgende Weise. Ein grosser Ballon A von Glas, Fig. 50, dessen Hals mit einer Messingfassung und einem Hahne B versehen ist, lässt sich auf den Teller einer Luftpumpe aufschrauben. In dieselbe Schraubenmutter des Halses lässt sich oben auch ein Häkchen C, Fig. 51, einschrauben, mit welchem man den Ballon unter die eine Schale einer Wage aufhängen kann. Nachdem man den mit Luft gefüllten Ballon auf diese Weise unter die Wagschale gebracht und auf die andere Wagschale so viele Gewichte gelegt hat, dass die Wage im Gleichgewicht ist, der Wagbalken also horizontal steht, entfernt man den Ballon von der Wage, schraubt den Haken C ab, und den Ballon, wie Fig. 50

Fig. 50.



zeigt, auf den Teller der Luftpumpe auf, wobei der Hahn *B* stets offen bleibt. Setzt man nun die Luftpumpe in Thätigkeit, so wird die Luft aus dem Ballon ausgepumpt und man kommt damit bald bis zu einem Grade der Verdünnung, dass nur noch sehr wenig Luft in dem Ballon enthalten ist. Man schliesst nun den Hahn *B* ab, nimmt den Ballon von dem Teller der Pumpe weg, schraubt das Häkchen *C* an seine Stelle und hängt den Ballon wieder unter die Wagschale. Man findet dann, dass er leichter geworden ist, als er anfangs war, denn die Wagschale, an welcher er hängt, geht in die Höhe. Um die Wage wieder ins Gleichgewicht zu bringen, muss man ein gewisses Gewicht auf die Wagschale, an welcher der Ballon aufgehängt ist, auflegen, und dieses Gewicht ist offenbar gleich dem Gewichte der Luft, welche aus dem Ballon ausgepumpt worden ist. Statt dieses Zulagegewicht anzuwenden, kann man das Gleichgewicht der Wage auch dadurch wieder herstellen, dass man den Hahn *B* öffnet und die äussere Luft wieder in den Ballon einströmen lässt. Sobald dieses geschieht, fängt die Wagschale nebst dem Ballon an zu sinken und zwar so tief, bis das Gleichgewicht der Wage wieder vorhanden ist. Aus diesem Versuche folgt, dass die Luft **schwer** ist; es ist klar, dass man zu demselben Resultate gelangen muss, wenn der vorstehende Versuch auch mit anderen Gasen angestellt wird.

Fig. 51.



Wir werden später sehen, dass die Luftarten viel leichter sind, als die Flüssigkeiten; beispielsweise führen wir nur an,

dass 1 Kubikfuss atmosphärischer Luft bei einer Temperatur von 0^0 und einem mittleren Barometerstande von 28 Zoll nahe 2,4 Loth wiegt.

34 **Der Druck im Innern der schweren Gase.** Unter Rücksichtnahme auf die Zusammendrückbarkeit und die Expansivkraft der Gase erhalten wir nun zufolge der §§. 5 bis 9 für den Druck im Innern der Gase folgende Resultate:

1. In einem schweren und im Gleichgewichte befindlichen Gase ist der Druck gegen eine sehr kleine durch einen Punkt A im Innern des Gases angenommene Fläche gleich gross, nach welcher Richtung auch die Fläche gelegt sein mag, vorausgesetzt, dass diese Flächen alle gleich gross sind. Der Gesammtdruck gegen die Einheit einer jeden dieser Flächen, unter der Annahme, dass dieselbe in allen ihren Punkten denselben Druck bekommt, wie er in der unmittelbaren Nachbarschaft des Punktes A stattfindet, wird der Druck für den Punkt A genannt.

2. In einem schweren und im Gleichgewichte befindlichen Gase ist der Druck für alle in derselben horizontalen Ebene gelegenen Punkte gleich gross.

3. Der Druck in irgend einem Punkte eines schweren Gases ist für den Fall des Gleichgewichtes gleich dem Druck in irgend einem anderen höher gelegenen Punkte, vermehrt um das Gewicht eines verticalen Gasprismas, welches zwischen den beiden durch diese Punkte gelegten horizontalen Ebenen enthalten ist und die Einheit der Fläche zur Basis hat.

4. Der Druck, den eine schwere Gasmenge im Zustande des Gleichgewichtes auf irgend einen Punkt der Gefässwand ausübt, ist gleich dem Druck in irgend einem höher gelegenen Punkte dieser Gefässwand, vermehrt um das Gewicht eines verticalen Gasprismas, welches zwischen den beiden durch diese Punkte gelegten horizontalen Ebenen enthalten ist und die Einheit der Fläche zur Basis hat.

Das Gewicht der Gase ist im Vergleich zu dem Druck, den sie in Folge ihrer Expansivkraft auf die Gefässwände ausüben, so gering, dass man dasselbe in den meisten Fällen, wenn nicht gerade sehr bedeutende Gasmengen in Rechnung kommen, ganz vernachlässigen kann. Die Gase treten dann unter die Bedingungen, welche wir in §. 32 angenommen haben, und für die Bestimmung ihres Drucks sind dann die dort gewonnenen Resultate maassgebend.

Da die Flüssigkeiten fast gar nicht zusammendrückbar sind, 35
so kann man ohne erheblichen Fehler annehmen, dass die Dichtigkeit in allen ihren Punkten gleich gross ist. Bei den Luftarten ist dieses nicht der Fall; da sie sich sehr leicht zusammendrücken lassen, so sind die tiefer liegenden Schichten dichter, als die höher gelegenen; die Dichtigkeit nimmt also in der Richtung von oben nach unten fortwährend zu. Da für alle in derselben horizontalen Ebene liegenden Punkte der Druck derselbe ist, so ist auch die Dichtigkeit für solche Punkte dieselbe. Denkt man sich die ganze Luftmasse durch eine grosse Anzahl von horizontalen, in gleichen und sehr kleinen Abständen von einander gelegten Ebenen in dünne Scheiben getheilt, so kann man annehmen, dass die Dichtigkeit in allen Punkten einer und derselben Scheibe gleich gross ist, dagegen nimmt sie in der Richtung von unten nach oben von einer Scheibe zur anderen ab. Man kann daher eine Gasmenge als eine Ansammlung mehrerer Flüssigkeiten von verschiedenen Dichtigkeiten ansehen, welche über einander gelagert und durch wagerechte Ebenen von einander getrennt sind.

Wenn man, wie in §. 34, sagt, dass der Unterschied in dem Drucke für zwei beliebige Punkte im Innern eines schweren Gases gleich ist dem Gewichte eines verticalen Gasprismas, welches zwischen den beiden durch diese Punkte gelegten horizontalen Ebenen enthalten ist und die Einheit der Fläche zur Basis hat, so muss man dabei beachten, dass das in diesem Prisma enthaltene Gas von derselben Beschaffenheit sei, wie in der übrigen zwischen diesen horizontalen Ebenen befindlichen Gasmenge; die Dichtigkeit desselben muss also von der unteren Basis bis zur oberen immer abnehmen. Man kann daher auch nicht das Gewicht eines solchen Gasprismas, wie es bei den Flüssigkeiten geschieht, dadurch bestimmen, dass man das Gewicht der Volumeneinheit mit dem Volumen des Prismas multiplicirt (§. 15). Wenn aber der Höhenunterschied der beiden Punkte oder die Höhe des gedachten Gasprismas nicht sehr bedeutend ist und man annehmen kann, dass die Dichtigkeit des Gases in den einzelnen Punkten dieser Höhe nicht sehr verschieden ist, so kann man das Gewicht des Gasprismas wie bei den Flüssigkeiten berechnen, da in diesem Falle der begangene Fehler verschwindend klein ist.

Die Atmosphäre. Die Luft, welche uns umgiebt, ist ein 36
Gas, welches über die ganze Oberfläche der Erde verbreitet

ist. Bis zu welcher Höhe man sich auch bis jetzt hat erheben können, sei es durch Besteigen hoher Berge oder vermittelst des Luftballons, man ist stets von Luft umgeben gewesen. Die ganze die Erde einhüllende Luftmasse, Atmosphäre genannt, reicht also überall bis zu einer sehr bedeutenden Höhe hinauf; aber diese Höhe ist nicht unbegränzt, es giebt vielmehr eine Gränze, welche die Atmosphäre nicht überschreiten kann. Um hiervon eine klare Vorstellung zu bekommen, denken wir uns in der Ebene des Aequators in einer gewissen Höhe über der Erdoberfläche irgend ein Lufttheilchen. Auf dieses Theilchen wirken zwei Kräfte, die Schwerkraft der Erde, die in verticaler Richtung abwärts wirkt, und die Schwungkraft, die aus der Umdrehung der Erde um ihre Achse herrührt; mit der Erde dreht sich nämlich die ganze umgebende Luftmasse gerade so, als ob sie mit derselben fest verbunden wäre. Die erste Kraft sucht das Lufttheilchen der Erdoberfläche näher zu bringen, die zweite Kraft hat das entgegengesetzte Bestreben. So lange das angenommene Lufttheilchen nicht sehr weit von der Erdoberfläche entfernt ist, ist die erste der genannten Kräfte überwiegend. Wenn wir aber in derselben Ebene des Aequators das Lufttheilchen immer höher und höher annehmen, so nimmt die Schwerkraft immer mehr ab, während die Schwungkraft nach I. §. 135 immer mehr zunimmt, so dass wir zuletzt bei einem Punkte ankommen, wo beide Kräfte einander gleich sind und sich das Gleichgewicht halten. In der Ebene des Aequators kann sich daher die Atmosphäre nicht über diesen Punkt hinaus erstrecken; denn wäre dieses der Fall, so würden die höher gelegenen Lufttheilchen durch die Ueberwucht der Schwungkraft über die Schwerkraft gleichsam von der Erde abgestossen; sie könnten mit den übrigen Theilen der Atmosphäre nicht mehr vereinigt bleiben, würden sich von ihnen losreissen und sich in den angränzenden Raum verbreiten. Die Gränze, welche sich auf Grund dieser Betrachtung für die Atmosphäre in der Aequatorialebene ergiebt, liegt in einer Höhe von ungefähr 3500 geographischen Meilen.

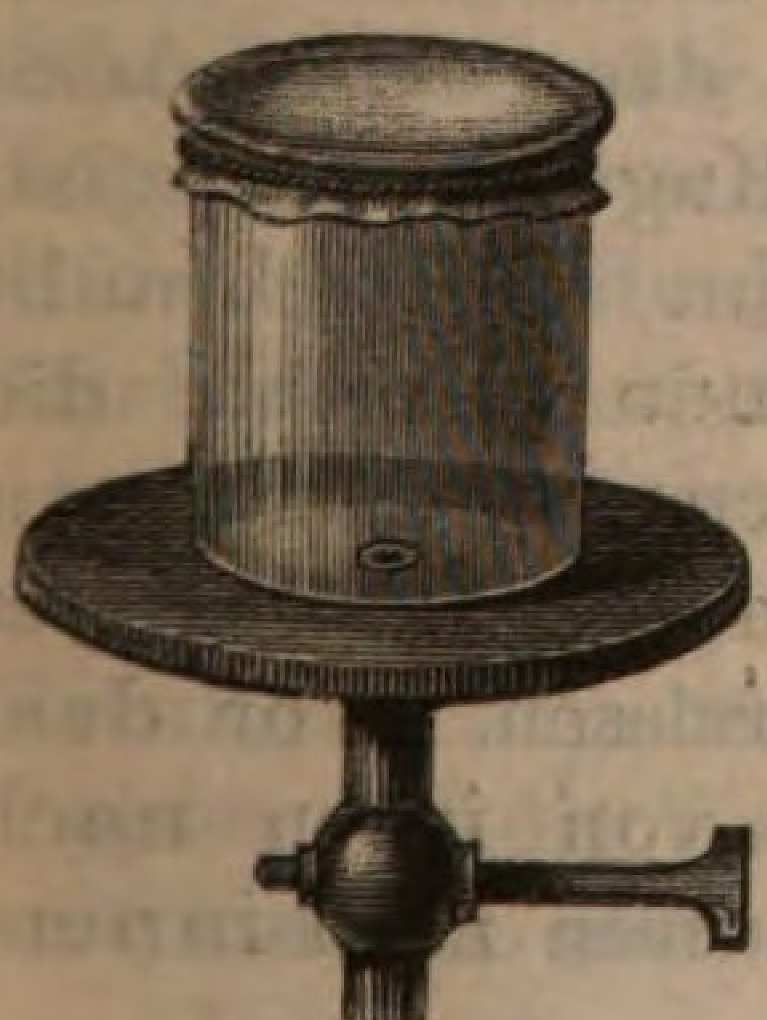
Die Atmosphäre der Erde reicht jedoch bei Weitem nicht bis zu dieser Höhe hinauf. Denken wir uns einen Cylinder in verticaler Stellung auf der Oberfläche der Erde stehend und bis zu einer bedeutenden Höhe verlängert, so kann man sich die von demselben eingeschlossene Luft durch horizontale Ebenen in eine Reihe von einzelnen Schichten getheilt denken.

Eine jede dieser Schichten hat das Gewicht aller darüber stehenden Schichten zu tragen und erleidet daher einen um so geringeren Druck, je höher sie liegt; die Dichtigkeit der Luft nimmt also in dem Maasse, wie man höher steigt, beständig ab. Eine genauere Untersuchung über diese Dichtigkeitsabnahme lehrt nun, dass schon in einer Höhe von 4 bis 5 geographischen Meilen die Luft so dünn ist, dass alle uns zu Gebote stehenden Mittel nicht mehr ausreichen, um ihr Vorhandensein nachzuweisen. Wir dürfen also schliessen, dass die Höhe der Atmosphäre 5 Meilen nicht überschreitet. Wenn diese Höhe auf den ersten Blick sehr gross zu sein scheint, so ist sie doch im Vergleich zu den Dimensionen des Erdkörpers unbedeutend, so dass die Atmosphäre in der Wirklichkeit nur eine dünne Gashülle um die Erde bildet.

Der Atmosphärendruck. Da die Luft schwer ist, so übt 37
sie auch einen Druck aus, der nach dem Vorigen sich gleichmässig nach allen Richtungen fortpflanzt. Dieser Druck gegen die Einheit der Fläche ist gleich dem Gewichte eines verticalen Luftprismas, welches die Einheit der Fläche zur Basis und die ganze Höhe der Atmosphäre zur Höhe hat. Da die inneren Räume eines Gebäudes durch Fenster- und Thürspalten, Schlüssellöcher, Kamine u. s. w. mit der äusseren Luft in Verbindung stehen, und wegen der grossen Elasticität der Luft ein jeder Druck sich ungeschwächt nach allen Richtungen fortpflanzt, so ist der Luftdruck im Innern der Gebäude ebenso gross als im Freien. Man kann sich von dem Vorhandensein des Luftdruckes leicht auf folgende Weise überzeugen.

Ein hohler Cylinder von starkem Glase oder Messing ist an seinen beiden Enden gut abgeschliffen, so dass er auf dem ebenfalls gut abgeschliffenen Teller einer Luftpumpe, Fig. 52, luftdicht schliesst. Nachdem man das obere Ende desselben mit einer straff gespannten Thierblase überbunden hat, setzt man ihn mit seinem unteren Ende auf den Teller der Luftpumpe und pumpt die Luft aus ihm weg. Bei dem ersten Kolbenzuge der Pumpe verliert die Blase ihre ebene Form und wird concav. So lange nämlich die Blase, bevor die Pumpe in Thätigkeit

Fig. 52.



gesetzt wurde, von der Luft auf beiden Seiten gleich stark gedrückt wird, bildet sie eine ebene Fläche; wenn aber die Luft auf der einen Seite weggenommen wird, ist der äussere Druck über den inneren überwiegend und die Blase wird eingedrückt. Je mehr man die Luft aus dem Cylinder auspumpt, um so mehr nähert sich der auf die äussere Seite der Blase wirkende Druck der Luft dem Gewichte der verticalen Luftsäule, welche den Querschnitt des Cylinders zur Basis hat und bis zur Gränze der Atmosphäre reicht. Wenn die Blase auf diese Weise stark angespannt ist, und man schlägt dann leise mit dem Finger oder einem anderen festen Gegenstande auf dieselbe, so platzt sie und die Luft stürzt mit einem starken Knall in den luftverdünnten Raum ein. Statt der Blase kann man auch eine ebene Glasscheibe nehmen und dieselbe auf den mit Fett bestrichenen Rand des Cylinders luftdicht auflegen. Nach einigen Kolbenzügen wird dieselbe von dem äusseren Luftdruck einwärts gedrückt und in zahllosen Splittern gegen den Teller geschleudert.

Ein anderer Versuch besteht darin, dass man zwei hohle Halbkugeln, Fig. 53, mit etwas breiten und gut abgeschliffenen Rändern versieht, dieselben an diesen Rändern zu einer Kugel zusammensetzt und dann aus dem Innern derselben die Luft auspumpt. Zu diesem Zwecke ist der Fuss der einen Hohlkugel durchbohrt und mit einem Abschliesshahn versehen. Nachdem man für einen besseren Verschluss die beiden Ränder der Halbkugeln mit etwas Fett verstrichen und dann dieselben aufeinandergesetzt hat, schraubt man den mit einer Schraubenmutter versehenen Fuss auf die Luftpumpe und pumpt die Luft aus. Wenn man annehmen kann, dass der grösste Theil der Luft aus der Kugel entfernt ist, schliesst man den Hahn und schraubt die Kugel von der Pumpe ab. Wenn man nun versucht, die beiden Halbkugeln von einander zu trennen, so fühlt man einen sehr bedeutenden Widerstand, und man muss grosse Gewalt anwenden, um sie von einander loszureissen. Vor dem Auspumpen drückte die Luft ebenso stark von innen nach aussen gegen die Wände der Kugel als von aussen nach innen,

Fig. 53.



und es war daher leicht, die Halbkugeln von einander zu trennen; in dem Maasse aber, als die Luft aus dem Innern der Kugel ausgepumpt wird, nimmt der innere Luftdruck ab und der äussere Druck wird überwiegend. Die Halbkugeln werden also durch den Luftdruck zusammengepresst, und zwar um so stärker, je grösser die Oberfläche ist, auf welche der Luftdruck wirken kann.

Dieser Versuch wurde zuerst im Jahre 1654 im Beisein des Kaisers Ferdinand III. auf dem Reichstage zu Regensburg von dem Erfinder der Luftpumpe, Otto von Guericke, Bürgermeister zu Magdeburg, mit zwei Halbkugeln angestellt, welche eine innere Weite von 0,67 Ellen hatten. Dieselben hielten, nachdem die Kugel luftleer gemacht worden war, so fest zusammen, dass 16 stark angetriebene kräftige Pferde kaum im Stande waren, sie von einander zu reissen, Fig. 54. Hatte man aber durch Oeffnen

Fig. 54.



des Hahns vorher die Luft wieder eingelassen, so konnte ein einzelner Mensch ohne Anstrengung die Halbkugeln von einander trennen. Bei einem späteren Versuche, wo der Durchmesser der Kugel eine Elle betrug, konnten die Halbkugeln nicht von 30 Pferden auseinander gerissen werden. Diese Vorrichtung ist unter dem Namen der Magdeburger Halbkugeln bekannt.

Endlich machen wir noch auf einen dritten Versuch aufmerksam, den jeder leicht anstellen kann. Man nimmt ein Trinkglas, Fig. 55 (a. f. S.), füllt es ganz mit Wasser, legt ein Blatt Papier auf die Wasserfläche und kehrt nun das Glas behutsam um, indem man das Papier mit der flachen Hand gegen den

Rand des Glases andrückt, damit die Luft nicht zwischen das Papier und das Glas eindringe. Wenn man das Glas umgekehrt hat und das Papier sich in horizontaler Lage befindet, zieht man die Hand fort. Das Wasser bleibt nun in dem Glase stehen, ohne herauszufallen, und das Papier haftet so fest an dem Glasrande, als wenn es angeleimt wäre. Es ist nur der Druck der Luft, welcher das Wasser in dem Gefässe hält und es verhindert herauszufallen; das Papier ist nur zu dem Zwecke da, dass die Luft gleichmässig auf alle Punkte der unteren Flüssigkeitsschicht wirken kann; wäre das Papier nicht vorhanden, so würde die Luft bei der grossen Beweglichkeit dieser Wasserfläche nicht vollkommen gleichmässig auf alle Punkte derselben drücken und die einzelnen Wassertheilchen verschieben; die Luft würde dann durch die Flüssigkeit in die Höhe steigen und das Wasser aus dem Gefässe verdrängen. Macht man denselben Versuch mit einer nicht zu weiten Glasröhre, so ist das Papierblatt nicht nöthig.

Fig. 55.



38 **Der Torricelli'sche Versuch.** Wenn man eine Glasglocke, Fig. 56, in schräger Richtung in ein mit Wasser gefülltes Gefäss eintaucht und sie auf diese Weise ganz anfüllt, ohne dass noch Luft darin zurückbleibt, so kann man sie in verticaler Stellung fast ganz aus der Flüssigkeit herausziehen, ohne dass das Wasser herausfällt; wenn man nur darauf achtet, dass der untere Rand der Glocke stets unter Wasser bleibt, so bleibt das Wasser in der Glocke stehen. Die alten Naturforscher suchten diese Erscheinung dadurch zu erklären, dass sie annahmen, die Natur habe einen A b s c h e u

Fig. 56.

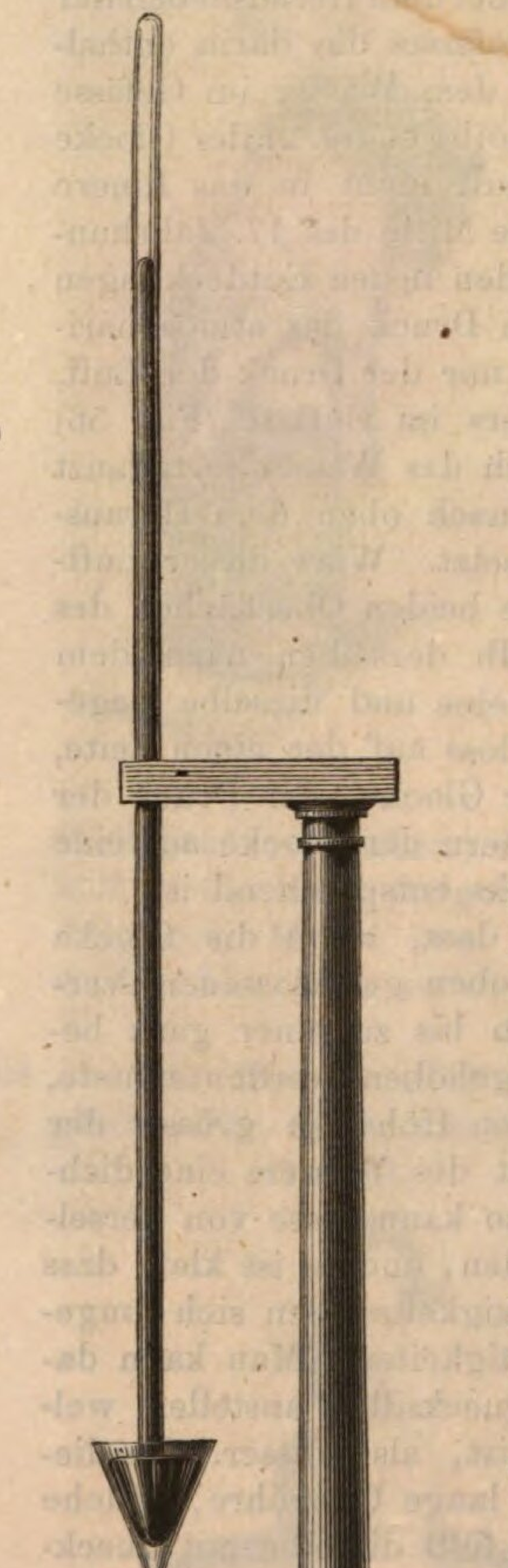


gegen den leeren Raum (*horror vacui*) und suche daher überall da, wo eine solche Leere entstehen wolle, dieselbe mit Materie auszufüllen. Es ist nämlich klar, dass, wenn bei dem Herausheben der gefüllten Glocke aus dem Wasser des Gefässes das darin enthaltene Wasser herausfallen und sich mit dem Wasser im Gefässe auf ein gleiches Niveau stellen würde, nothwendig in der Glocke ein leerer Raum entstände, da die Luft nicht in das Innere derselben eindringen kann. Erst um die Mitte des 17. Jahrhunderts musste diese falsche Ansicht vor den neuen Entdeckungen Galilei's und Torricelli's über den Druck der atmosphärischen Luft weichen. In der That ist es nur der Druck der Luft, welcher auf die Oberfläche des Wassers im Gefässe (Fig. 56) wirkt, sich nach allen Richtungen durch das Wasser fortpflanzt und sich in der Richtung von unten nach oben dem Herausfallen desselben aus der Glocke widersetzt. Wäre dieser Luftdruck nicht vorhanden, so müssten die beiden Oberflächen des Wassers in der Glocke und ausserhalb derselben nach dem Princip der communicirenden Gefässe eine und dieselbe wagerechte Oberfläche bilden; wirkt aber bloss auf der einen Seite, nämlich auf das Wasser ausserhalb der Glocke, der Druck der Luft, so hebt dieser das Wasser im Innern der Glocke auf eine Höhe, die der Grösse dieses Ueberdrucks entsprechend ist.

Es ist daher leicht einzusehen, dass, wenn die Glocke (Fig. 56) die Gestalt einer sehr hohen, oben geschlossenen, verticalen Röhre hätte, das Wasser darin bis zu einer ganz bestimmten Höhe von dem Luftdrucke gehoben werden müsste, und zwar bis zu einer um so grösseren Höhe, je grösser der Luftdruck selbst ist. Nimmt man statt des Wassers eine dichtere specifisch schwerere Flüssigkeit, so kann diese von derselben Kraft nicht so hoch gehoben werden, und es ist klar, dass die Höhen der beiden gehobenen Flüssigkeitssäulen sich umgekehrt verhalten werden, wie ihre Dichtigkeiten. Man kann daher einen solchen Versuch leicht mit Quecksilber anstellen, welches bekanntlich $13\frac{1}{2}$ mal so schwer ist, als Wasser. Zu diesem Zwecke nimmt man eine 30 Zoll lange Glasröhre, welche an dem einen Ende zugeschmolzen ist, füllt dieselbe mit Quecksilber, verschliesst das offene Ende mit dem Finger und kehrt die Röhre um. In dieser Stellung, Fig. 57 (a. f. S.), taucht man das mit dem Finger verschlossene Ende in ein darunter gesetztes Gefäss mit Quecksilber und zieht dann den Finger von der Oeffnung vorsichtig weg, damit keine Luft von der Seite her in die Röhre eindringen kann. Sogleich fällt ein Theil Quecksilber

aus der Röhre heraus, aber der grösste Theil desselben bleibt darin stehen und bildet eine Säule über dem Niveau des Quecksilbers im Gefässe von ungefähr 28 pariser Zoll. Da die Röhre anfänglich mit Quecksilber ganz angefüllt war und keine Luft in dieselbe hat eindringen können, so ist oberhalb der Quecksilbersäule in der Röhre ein leerer Raum, den man die Torricelli'sche Leere nennt.

Fig. 57.



39 **Die Grösse des Luftdruckes.** Der vorstehende, zuerst von Torricelli im Jahre 1643 angestellte Versuch giebt uns ein einfaches Mittel an die Hand, um die Grösse des Luftdruckes zu bestimmen. Zunächst ist klar, dass der Druck in jedem Punkte einer und derselben horizontalen Ebene, welche man durch das untere Gefäss mit Quecksilber legt, gleich gross ist, mag der Punkt innerhalb der Glasröhre liegen oder ausserhalb derselben im Gefässe. Dasselbe ist auch noch der Fall für die horizontale Ebene, welche die freie Oberfläche des Quecksilbers bildet, so dass der Druck, den die Luft auf einen Punkt dieser Oberfläche ausserhalb der Röhre ausübt, gleich ist dem Drucke, den das Quecksilber im Innern der Röhre ausübt. Der Druck der Luft auf 1 Quadratzoll der freien Oberfläche des Quecksilbers ist daher gleich dem Gewichte einer verticalen Quecksilbersäule von 1 Quadratzoll Basis und von 28 pariser Zoll Höhe.

Um diesen Druck in Gewichtstheilen zu bestimmen, beachte man zuerst, dass 28 pariser Zoll sehr nahe gleich 29 preussischen Zoll sind. Die genannte Quecksilbersäule hat daher ein Volumen von 29 preussischen Kubikzoll. Nun wiegt bekanntlich 1 Kubikzoll Wasser 1,0718 Loth

(§. 15), daher wiegt 1 Kubikzoll Quecksilber, welches 13,5 mal so schwer ist, 14,4693 Loth und 29 Kubikzoll Quecksilber wiegen 29 × 14,4693 Loth oder sehr nahe 14 Pfund; ebenso gross ist der Druck der Luft auf 1 Quadratzoll.

Aus dem Vorstehenden lässt sich nun leicht berechnen, welche Höhe eine Wassersäule in dem Glasrohre Fig. 57 haben würde, wenn man den Torricelli'schen Versuch statt mit Quecksilber mit Wasser angestellt hätte. Da das Wasser 13,5 mal leichter ist, als Quecksilber, so würde dieselbe Kraft des Luftdruckes, welche eine Quecksilbersäule von 28 pariser oder 29 preussischen Zoll zu tragen vermag, eine Wassersäule tragen, welche 13,5 mal so hoch, also 13,5 × 29 Zoll oder 32 bis 33 preussische Fuss hoch ist.

Wenn man den Torricelli'schen Versuch zu verschiedenen Zeiten oder an verschiedenen Orten anstellt und man die Höhe der Quecksilbersäule, welche den Druck der Luft angiebt, genau misst, so findet man nicht immer dieselbe Zahl, woraus folgt, dass der Luftdruck veränderlich ist. Wenn aber der Beobachtungsort nicht hoch über der Meeresfläche liegt, so ist die Höhe der Quecksilbersäule fast immer nahe 28 pariser Zoll. Man nimmt daher diese Höhe von 28 pariser Zoll oder 336 pariser Linien, oder auch, wenn man die Rechnung im Metermaasse führt, eine Höhe von 760 Millimetern unveränderlich als den mittleren oder normalen Luftdruck an, und bezieht (wenn man sich von den etwa eingetretenen Aenderungen des Luftdruckes Rechenschaft geben will), alle anderen Quecksilberhöhen auf diese eine.

In allen Fällen, wo irgend ein Gas auf eine Fläche ebenso stark drückt, wie eine Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe, sagt man, dass der Druck eine Atmosphäre betrage. Unter diesem Ausdrucke versteht man also einen Druck, der ebenso stark ist, als der Druck der atmosphärischen Luft, oder einen Druck, der auf jeden Quadratzoll 14 Pfund beträgt. Wenn man z. B. sagt, der Druck des Dampfes im Dampfkessel sei fünf Atmosphären, so heisst das, der Dampf drückt gegen jeden Quadratzoll der Wand ebenso stark, als wenn 5 × 14 = 70 Pfund dagegen wirkten.

Anstatt den Druck eines Gases in Pfunden auf den Quadratzoll auszudrücken, kann man ihn auch in einer Quecksilbersäule angeben, wobei als Einheit oder als Atmosphäre eine Quecksilbersäule von 28 pariser Zoll genommen wird. So sagt man, der Druck des Dampfes betrage 70 Zoll Quecksilber, das heisst,

er beträgt $70:28 = 2\frac{1}{2}$ Atmosphären, also $2\frac{1}{2} \times 14 = 35$ Pfund auf den Quadratzoll.

In einzelnen Fällen, wenn der Druck des Gases, wie beim Leuchtgase, klein ist, giebt man den Druck desselben auch wohl durch eine Wassersäule in pariser Zoll an, wobei als 1 Atmosphäre eine Wassersäule von $31\frac{1}{2}$ pariser Fuss angenommen wird. Wenn daher der Druck eines Gases $2\frac{1}{2}$ pariser Zoll Wasser beträgt, so macht dieses $2\frac{1}{2} : 13\frac{1}{2}$ oder $\frac{5}{27}$ Zoll Quecksilber, also $\frac{5}{27.28} = \frac{5}{756}$ Atmosphäre; oder auch $2\frac{1}{2}$ Zoll $= \frac{5}{24}$ Fuss Wasserdruck betragen $\frac{5}{24} : 31\frac{1}{2} = \frac{5}{756}$ Atmosphäre.

Die vorstehenden Beziehungen werden kurz ausgedrückt, indem man sagt: 1 Atmosphäre = 28 pariser Zoll Quecksilber $= 31\frac{1}{2}$ pariser Fuss Wasser = 14 preuss. Pfund auf 1 Quadratzoll.

40 **Das Barometer.** Die in Fig. 57 abgebildete Vorrichtung, welche dazu dient, den Luftdruck zu messen, wird Barometer genannt. Je nach dem Gebrauche, den man von diesem Instrumente machen will, hat man ihm verschiedene Formen gegeben. Wenn, wie in Fig. 57, die Glasröhre in ein weiteres Gefäss endigt, so hat man ein Gefässbarometer. In den meisten Fällen biegt man das Glasrohr unten um und lässt es in ein birnförmig sich erweiterndes Gefäss, Fig. 58, endigen; von dieser Art sind die gewöhnlichen im Handel vorkommenden Barometer. Eine andere Grundform des Barometers bilden die Heberbarometer, Fig. 59, welche aus einem einzigen überall gleich weiten und heberförmig umgebogenen Glasrohre bestehen.

Es ist klar, dass in dem Gefäss- wie in dem Heberbarometer die beiden Quecksilberniveaus gleichzeitig ihren Stand ändern, so dass, wenn die Quecksilberkuppe in dem längeren Schenkel, dem eigentlichen Barometerrohre, fällt, das Niveau in dem Gefässe oder dem kürzeren Schenkel steigt und umgekehrt. In allen Fällen aber giebt die Höhendifferenz der beiden Quecksilberniveaus den Luftdruck an, und diese ist es, die man bei jeder Beobachtung des Barometers genau ermitteln muss.

Es giebt zwei Wege, die hier zum Ziele führen; im ersten Falle geht man bei der Messung der Quecksilberhöhe in dem längeren Rohre von einem tiefer liegenden festen Nullpunkte aus, und dann muss nothwendig vor jeder Beobachtung der oberen Quecksilberkuppe durch irgend eine Vorrichtung die untere

Quecksilberkuppe im Gefässe oder beim Heberbarometer in dem kürzeren Schenkel mit dem angenommenen festen Nullpunkte in eine wagerechte Ebene gebracht werden. In welcher Weise dieses bei den zu wissenschaftlichen Zwecken eingerichteten Gefässbarometern geschieht, werden wir sogleich näher sehen. Bei den gewöhnlichen Instrumenten, Fig. 58, genügt es, das Gefäss recht weit zu machen im Vergleich zu dem Durchmesser der Röhre. In diesem Falle kann man das Niveau des Quecksilbers im Gefässe als den festen Nullpunkt ansehen und von hier aus die Scala in pariser Zoll eintheilen. Wenn nämlich beim abnehmenden Luftdrucke etwas Quecksilber aus der Röhre in das Gefäss fliesst, so ist die Quantität desselben wegen des kleinen Querschnittes der Röhre nicht bedeutend, dagegen breitet es sich in dem viel weiteren Gefässe beträchtlich aus und kann also zur Erhöhung des Niveaus nur sehr wenig beitragen; der Stand dieses Niveaus kann daher, ohne grosse Fehler zu begehen, als unverändert angesehen werden. Aus demselben Grunde verändert sich die Höhe dieses Niveaus nur sehr wenig, wenn bei zunehmendem Luftdruck etwas Quecksilber aus dem Gefässe in die Röhre tritt, um die Quecksilberhöhe der Röhre zu vergrössern. Bei den Barometern dieser Art beschränkt man sich bloss auf den oberen Theil der Scala, weil die Schwankungen des Luftdrucks an einem und demselben nicht sehr hoch gelegenen Orte nur in den engen Gränzen von 2 bis 3 Zoll sich bewegen und der Nullpunkt

Fig. 58.

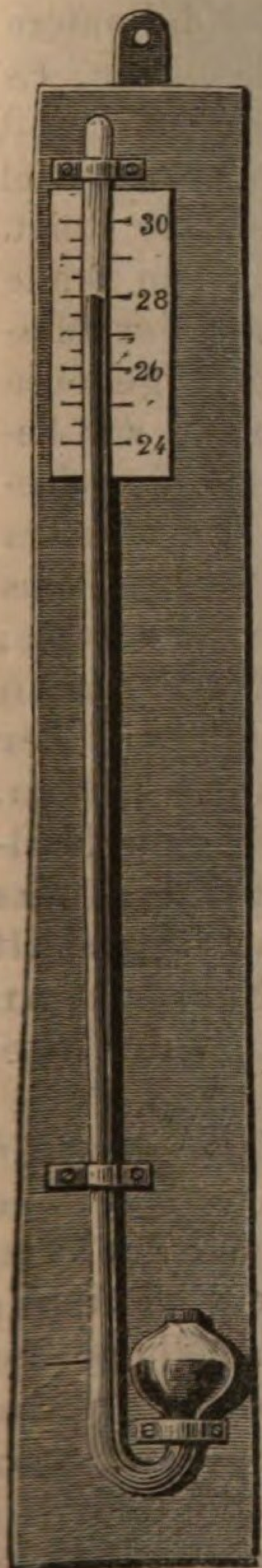


Fig. 59.



als unveränderlich im unteren Quecksilberniveau liegend, also als constant angesehen werden kann.

Im zweiten Falle macht man entweder die Scala oder das Barometerrohr selbst verschiebbar, damit man vor jeder Ablesung der Quecksilberhöhe in dem längeren Schenkel die untere Quecksilberkuppe an den Nullpunkt der Scala einstellen kann. Es ist dieses namentlich erforderlich bei dem Heberbarometer, weil hier das Quecksilber in dem kürzeren Schenkel um ebenso viel steigt oder fällt, als es im längeren Schenkel fällt oder steigt.

In Fig. 59 ist der Nullpunkt *a* der Theilung auf dem Brette fest, dagegen kann das Barometerrohr, welches auf der Messingplatte *d* festgeschraubt ist, durch die Schraube *s* gehoben und gesenkt werden; die Halter *b* und *c* dienen zwar zur Befestigung des Barometerrohres, lassen aber doch eine Verschiebung desselben zu. Vor jeder Beobachtung des Luftdruckes wird mittelst der Schraube *s* das Barometerrohr so gestellt, dass die untere Quecksilberkuppe genau an dem Nullpunkte *a* steht; erst nachdem dieses geschehen, giebt der Stand der oberen Quecksilberkuppe an der Scala die wahre Höhendifferenz der beiden Quecksilberniveaus oder den Luftdruck in pariser Zoll an.

Man kann aber offenbar auch die ganze bis zum Nullpunkte reichende Scala verschiebbar machen, wobei dann das Barometerrohr fest stehen bleibt. Bei der Beobachtung stellt man zuerst durch Verschiebung der Scala den Nullpunkt an die untere Quecksilberkuppe und liest dann den Stand der oberen Kuppe an der Scala ab.

Obgleich das Barometer zunächst nur dazu dienen kann, die Veränderungen in dem Luftdruck anzugeben, so stehen doch die Ursachen, welche die Veränderungen der Witterung herbeiführen, mit dem Luftdruck in einem gewissen Zusammenhange, so dass man unter richtiger Beurtheilung der anderen mitwirkenden Ursachen, wie der Windrichtung, der Temperatur u. s. w., allerdings aus dem Verhalten des Barometers auf die bevorstehenden Aenderungen in der Witterung schliessen kann. Man giebt zu diesem Zweck dem Barometer häufig die Einrichtung, wie sie in Fig. 60 dargestellt ist, wobei das Barometerrohr heberförmig umgebogen ist, der kürzere Schenkel aber einen grösseren Querschnitt hat als der längere.

Um die kleinen Veränderungen in der Höhe der Quecksilbersäule noch sichtbarer zu machen, überträgt man die Bewegungen des Quecksilberniveaus im Gefässe vermittelst eines Röllchens auf einen Zeiger, der sich vor einem einegtheilten

Gradbogen bewegt. Die Figuren 60 und 61 zeigen eine derartige Einrichtung. Auf der freien Oberfläche des Quecksilbers in dem Gefässe schwimmt ein kleiner Elfenbeincylinder, welcher an eine über ein Röllchen geschlungene feine Schnur aufgehängt ist; um die Schnur gespannt zu halten, ist ein anderer etwas leichterer Elfenbeincylinder vermittelst eines in der entgegengesetzten Richtung um die Rolle geschlungenen Fadens ebenfalls an diese Rolle aufgehängt. Statt der beiden Elfenbeincylinder nimmt man auch wohl kleine mit Schrotkörner beschwerte Glasfläschchen. Je nachdem der abnehmende oder zunehmende Luftdruck ein Heben oder Sinken der Quecksilberoberfläche im Gefässe bedingt, hebt oder senkt sich der schwerere Elfenbeincylinder und dreht damit die Rolle in der einen oder der anderen Richtung. Auf der Achse der Rolle ist der ziemlich grosse Zeiger befestigt, der sich mit der Rolle dreht und die Schwankungen im Luftdruck an einem Gradbogen in stark vergrössertem Maasse wahrnehmbar macht. Der Zeiger muss so gestellt sein, dass sein Schwerpunkt in der Achse der Rolle liegt, damit sein Gewicht auf die Bewegung der Rolle keinen Einfluss habe. Das eben beschriebene Instrument, Radbarometer genannt, wurde schon gegen Ende des siebzehnten Jahrhunderts von dem Engländer Hook angefertigt und ist jetzt noch ein beliebter Zimmerschmuck der Engländer und der Amerikaner; in Deutschland ist es seltener anzutreffen.

Fig. 60.

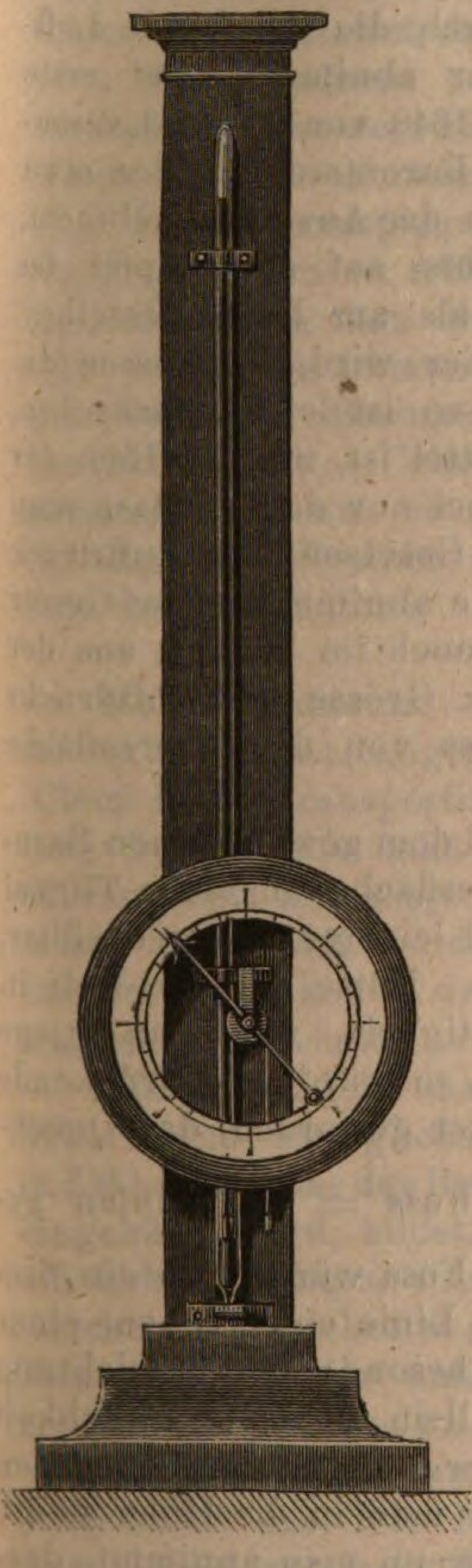


Fig. 61.



41 **Barometrische Höhenmessung.** Aus dem, was wir über die Atmosphäre bereits gesagt haben, folgt, dass die Quecksilbersäule eines Barometers in dem Maasse, wie man sich von der Erdoberfläche entfernt und dadurch die drückende Luftsäule selbst kürzer wird, immer mehr abnimmt. Der erste Versuch dieser Art wurde im Jahre 1648 von Pascal veranlasst; auf seine Anordnung wurde ein Barometer auf den etwa 5000 Fuss hohen Berg Puy de Dome in der Auvergne gebracht, wobei sich ergab, dass das Quecksilber auf dem Gipfel des Berges um drei Zoll tiefer stand, als am Fusse desselben. Da die Quecksilbersäule um so kleiner wird, je grösser die Höhe ist, auf welche man ansteigt, so ist leicht einzusehen, dass das Barometer ein geeignetes Mittel ist, um die Höhe der Berge zu messen; es handelt sich dabei nur darum, dass man vorher erforscht hat, nach welchen Gesetzen der Luftdruck mit der Entfernung von der Meeresfläche abnimmt; ist das Gesetz dieser Abnahme bekannt, so ist man auch im Stande, aus der mittelst des Barometers beobachteten Grösse des Luftdrucks die Entfernung des Beobachtungsortes von der Meeresfläche zu bestimmen.

Bei einer mittleren Temperatur und dem gewöhnlichen Barometerstande ist die Luft an der Meeresfläche ungefähr 770mal leichter als Wasser, und also 10395mal leichter als Quecksilber, dessen specifisches Gewicht 13,5 ist[1]). Hätte nun die Luft in allen Höhen eine und dieselbe Dichtigkeit, und man stiege mit dem Barometer 103,95 Fuss hoch, so würde die drückende Luftsäule um ebenso viele Fuss kürzer geworden, das Quecksilber im Barometer also um $\frac{103,95}{10395}$ Fuss $=$ 1,44 Linien gefallen sein. Einer Erhebung von 10 Fuss würde also ein Sinken des Barometers von ungefähr $\frac{1}{10}$ Linie entsprechen, einer Grösse, welche mit Hülfe einer besonderen Vorrichtung der Scala recht gut messbar ist. Allein in der Wirklichkeit ist es anders, denn die Dichtigkeit der Luft nimmt von unten nach oben immer mehr ab, je mehr man in die Höhe steigt. Eine genauere Untersuchung zeigt, wenn man annimmt, dass alle Luftschichten die nämliche Temperatur haben und die Aenderung in der Intensität der Schwere von oben nach unten vernachlässigt werden darf, dass die Dichtigkeit der Luft

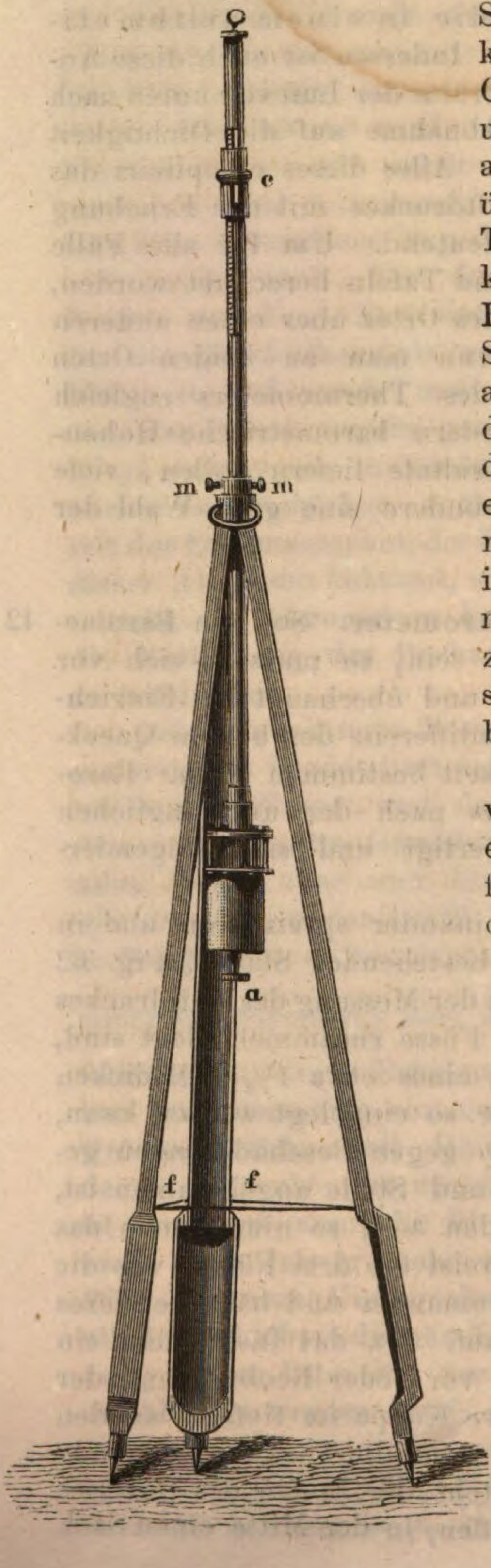
1) **Anm.** Bei 0° R. und 336,9 par. Linien Barometerstand ist das Quecksilber 10467mal, nach Regnault's Untersuchungen bei 0° R. und 760 Millimeter Barometerstand im Niveau des Meeres 10517,3mal so schwer, als atmosphärische Luft.

in einem geometrischen Verhältnisse abnimmt, wenn man sich zu Höhen erhebt, die in einem arithmetischen Verhältnisse wachsen. Indessen ist auch diese Annahme nicht gestattet, da die Temperatur der Luft von unten nach oben stark abnimmt und diese Abnahme auf die Dichtigkeit der Luft von grossem Einflusse ist. Alles dieses complicirt das Gesetz über die Abnahme des Luftdruckes mit der Erhebung über dem Meeresspiegel sehr bedeutend. Um für alle Fälle die Rechnungen zu erleichtern, sind Tafeln berechnet worden, mit Hülfe deren man die Höhe eines Ortes über einen anderen sehr leicht bestimmen kann, wenn man an beiden Orten den Stand des Barometers und des Thermometers zugleich beobachtet hat. Uebrigens erfordern barometrische Höhenmessungen, wenn sie genaue Resultate liefern sollen, viele Uebung und Vorsicht und insbesondere eine gute Wahl der Zeit ihrer Vornahme.

Reisebarometer. — Metallbarometer. Soll ein Barome- 42
ter zu Höhenmessungen geeignet sein, so muss es sich vor Allem leicht transportiren lassen und überhaupt die Einrichtung haben, dass man die Höhendifferenz der beiden Quecksilberniveaus mit grosser Genauigkeit bestimmen kann. Barometer dieser Art werden meistens nach der ursprünglichen Construction von Fortin angefertigt und sind folgendermaassen eingerichtet.

Ein hölzernes, aus drei auseinander spreizbaren und in Scharnieren beweglichen Füssen bestehendes Stativ, Fig. 62 (a. f. S.), in welches das Barometer bei der Messung des Luftdruckes eingehängt wird, bildet, wenn die Füsse zusammengelegt sind, ein hohles Futteral von der Form eines etwa 1½ Zoll dicken Stockes, in welches das Barometer so eingelegt werden kann, dass es überall fest anliegt und so gegen Beschädigungen geschützt ist. Wenn man an Ort und Stelle angekommen ist, wo der Luftdruck gemessen werden soll, so nimmt man das Instrument aus dem Futteral, spreizt die drei Füsse, wie die Figur zeigt, zu einem Dreifuss auseinander und hängt ersteres in die obere Hülse des Stativs auf. Da das Instrument ein Gefässbarometer ist, so muss man vor jeder Beobachtung der oberen Quecksilberkuppe die untere Kuppe im Gefässe an den festen Nullpunkt einstellen, von wo aus die Theilung der Scala ausgeht. Zu diesem Zwecke besteht der Boden des Gefässes zum Theil aus einer runden, schlaffen, in der Mitte einen Sack

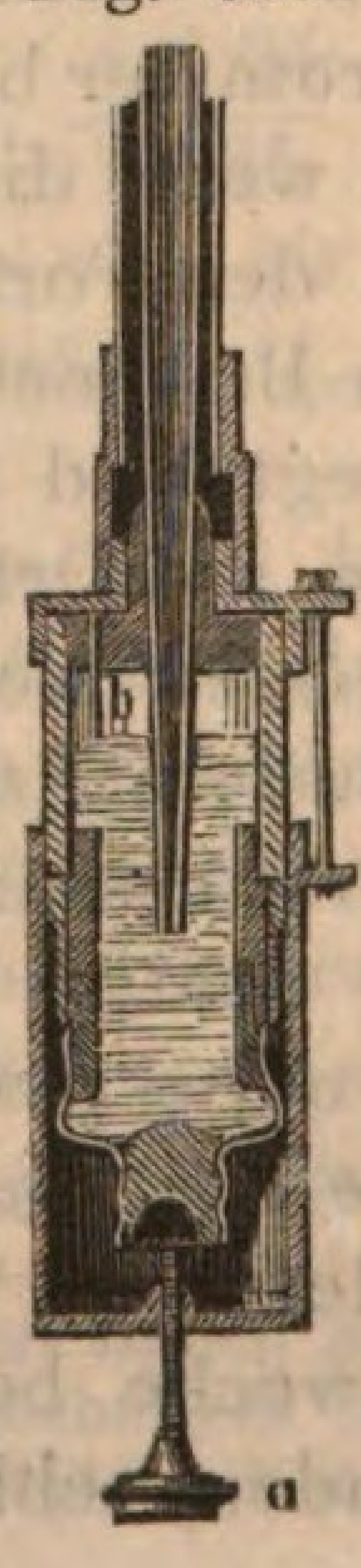
Fig. 62.



bildenden Membran, Fig. 63 (einem Stück Handschuhleder), deren Umkreis auf dem übrigen Boden des Gefässes rings herum festgeleimt und beim Anschrauben des Bodens an den oberen Theil des Gefässes überdies noch zwischen diesem Theile und dem Boden fest eingeklemmt wird. Durch die untere Fassung des Instrumentes geht eine Schraube *a* hindurch, deren Kopf auf den beweglichen unteren Theil des Gefässes wirkt. Schraubt man diese Schraube in die Höhe, so erhebt sich der Ledersack und damit zugleich die Quecksilberkuppe in dem Gefässe in die Höhe; dreht man die Schraube *a* herab, so sinkt zugleich, da der Boden des Gefässes nachgiebt, auch die Quecksilberoberfläche im Gefässe.

Der Nullpunkt der Scala wird von dem spitz zulaufenden Ende eines am oberen Deckel des Gefässes befestigten Elfenbeinstäbchens *b* angezeigt, und es muss daher vor jeder Beobachtung die Quecksilberkuppe des Gefässes durch Regulirung vermittelst der Schraube *a* so gestellt werden, dass sie die Spitze des Elfenbeinstäbchens *b* eben berührt. Um dieses überhaupt wahrnehmen zu können, sind am oberen Theile des Gefässes zwei kleine Glasfensterchen eingesetzt, und man bemerkt das Zusammentreffen

Fig. 63.

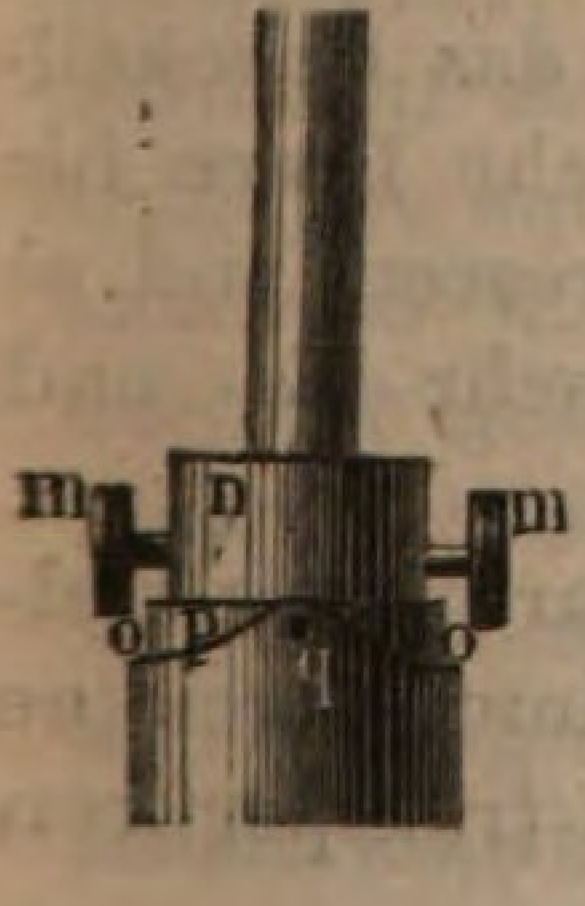


der Elfenbeinspitze mit der Quecksilberkuppe an dem umgekehrten Spiegelbilde, welches sich von dem Elfenbeinstäbchen in der Quecksilberoberfläche bildet. Berührt nämlich die Spitze des Stäbchens das Quecksilber nicht, so liegt das Bild der Spitze im Quecksilber ebenso weit von der Oberfläche desselben entfernt, als die Spitze selbst vor dieser Oberfläche steht; nähert sich bei Drehung der Schraube *a*, Fig. 63, die Quecksilberoberfläche der Elfenbeinspitze, so nähert sich zugleich das Bild dieser Spitze im Quecksilber der Spitze selbst, und in dem Augenblick, wo das Quecksilber die Elfenbeinspitze berührt, berühren sich auch die Spitze und ihr Bild.

Wenn auf diese Weise das untere Quecksilberniveau an die Elfenbeinspitze und damit an den Nullpunkt der Scala eingestellt worden ist, wendet man sich zur Beobachtung der oberen Quecksilberkuppe. Um dieses zu erleichtern, ist an dem oberen Theile des Rohres ein Schieber angebracht, der sich vermittelst eines kleinen Getriebes höher und tiefer stellen lässt. Derselbe hat ebenfalls zwei einander genau entgegengesetzte Fensterchen, durch welche man die Quecksilbersäule in dem von einer aufgeschlitzten Messinghülse umgebenen Glasrohre sehen kann. Man stellt den Schieber so, dass der an dem oberen Rande der Fensterchen vorbeigehende Sehstrahl die Quecksilberkuppe eben berührt; ein Zeiger und ein Nonius, dessen Theilung genau von diesem oberen Fensterrande beginnt, geben dann an der auf der Messinghülse angebrachten Theilung die Höhe der Quecksilbersäule oder den Luftdruck in pariser Zoll, Linien und Zehntellinien an.

Um bei derartigen Beobachtungen die wahre Höhendifferenz der beiden Quecksilberniveaus zu erhalten, muss das Barometerrohr eine verticale Stellung haben, denn wenn es schief hinge, so würde die an der Scala gemessene Quecksilbersäule eine grössere Länge haben, als diejenige ist, wodurch der Druck der Luft gemessen wird, da letztere der verticale Abstand der beiden Quecksilberkuppen im Rohre und im Gefässe ist. Zu diesem Zwecke ist die das Barometerrohr umgebende Messinghülse durch zwei Schrauben *mm*, Fig. 64, an einem das Rohr umgebenden Messingkragen *n* befestigt; auf diesem Kragen sind diametral gegenüber zwei kleine Zapfen *oo* angebracht, welche eine Achse bilden, um die das Barometer sich in einer bestimmten

Fig. 64.



Ebene drehen kann; diese beiden Zapfen liegen in zwei entsprechenden Ausschnitten eines Ringes *p*, der seinerseits sich um zwei andere Zapfen *q* frei drehen kann, die eine zu der ersteren senkrecht stehende Achse bilden. Bei dieser Aufhängungsweise kann das Barometer jede Lage annehmen, die man ihm geben will, und stellt sich wie der Faden eines Bleilothes genau vertical, wenn man es der Wirkung seines eigenen Gewichtes überlässt. Die dünnen Eisenstangen *ff*, Fig. 62, welche die drei Füsse des Gestelles zu je zweien verbinden, dienen dazu, während der Beobachtung das Instrument in einer festen Lage zu erhalten und zu verhindern, dass es durch einen etwaigen Stoss gegen einen der Füsse umgeworfen werde.

Wenn die nöthigen Beobachtungen gemacht sind und das Instrument wieder in seinen Verschluss gebracht werden soll, kehrt man es vorsichtig um, nachdem vorher die kleine Oeffnung im Gefässdeckel, welche der äusseren Luft den Zutritt gestattet, mit einem darin passenden Schraubenstöpsel dicht verschlossen worden ist. Um nun jede stärkere Erschütterung des Quecksilbers und dessen Anschlagen an die Glaswand des Rohres, welches dem Instrumente leicht gefährlich werden könnte, zu verhindern, wird nach Umkehrung des Barometers die Bodenschraube *a*, Fig. 63, so weit vorgedreht, dass ihr abgerundeter Kopf das Leder des Quecksilberbeutels gegen das offene Ende der Barometerröhre zwar andrückt, jedoch noch so viel Spielraum lässt, dass bei der Einwirkung von Wärme und Kälte das Quecksilber sich ausdehnen kann, ohne die Glasröhre zu sprengen. Es versteht sich von selbst, dass das Ende des Barometerrohres so nahe an den Boden des Gefässes herabreichen muss, dass es beim Umdrehen des Barometers nie aus dem Quecksilber des Gefässes hervortreten kann, vielmehr bei allen Lagen des Instrumentes unter Quecksilber bleibt.

Das Barometer von Gay-Lussac hat denselben Zweck wie das Fortin'sche; es ist ein Heberbarometer, welches ebenfalls mit einer Vorrichtung versehen ist, um das Quecksilber behufs des Transportes in die Torricelli'sche Leere bis zum höchsten Punkt des Barometers hinaufzupressen und es so fest zu stellen, dass es auf der Reise nicht mehr hin- und herschwanken kann.

In der neueren Zeit benutzt man als Reisebarometer vielfach das Metallbarometer von Bourdon, einmal weil es sich seiner compendiösen Form wegen sehr leicht transportiren

lässt und, weil es ganz von Metall ist, nicht zerbrechen kann, dann aber auch, weil bei dem Reisen im hohen Norden das Quecksilber gefriert und also das gewöhnliche Barometer unbrauchbar wird.

Das Metallbarometer von **Bourdon**, Fig. 65, besteht aus einem kreisrunden, aber den Kreis nicht ganz ausfüllenden hohlen Messingring *ABC* von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, 1 Zoll Höhe und linsenförmigem Querschnitt, Fig. 66. Der fehlende Theil des Kreises beträgt ungefähr $^3/_4$ Zoll. Der Ring ist an allen Löthstellen vollständig luftdicht und sein Inneres so vollständig als möglich luftleer gemacht. Bei dem gewöhnlichen Luftdruck von 28 par. Zoll wird der Ring eine ganz bestimmte Gestalt annehmen; denken wir uns nun, dass der Luftdruck **zunimmt**, so muss die äussere Oberfläche des Ringes davon mehr afficirt werden als die innere, weil jene grösser ist als diese. Die Folge hiervon ist, dass der Ring sich etwas verengt und seine beiden Enden sich nähern. Wenn dagegen der Luftdruck **abnimmt**, so muss das Entgegengesetzte stattfinden, da die Abnahme des Druckes auf der grösseren Aussenfläche mehr beträgt als auf der kleineren inneren Fläche; der Ring erweitert sich also und seine Enden entfernen sich von einander. Es versteht sich von selbst, dass der Ring biegsam und vollkommen elastisch sein muss.

Fig. 65.

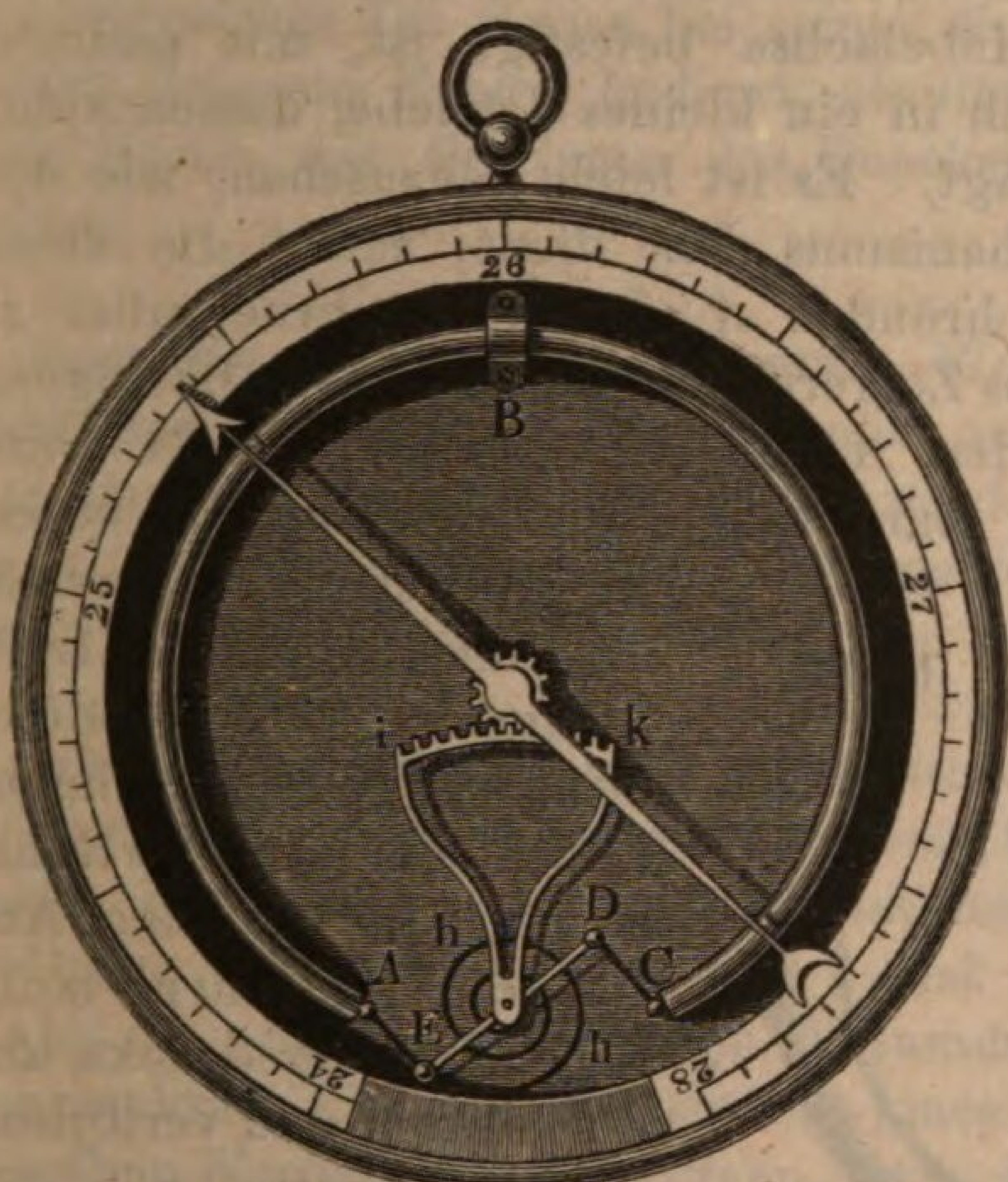


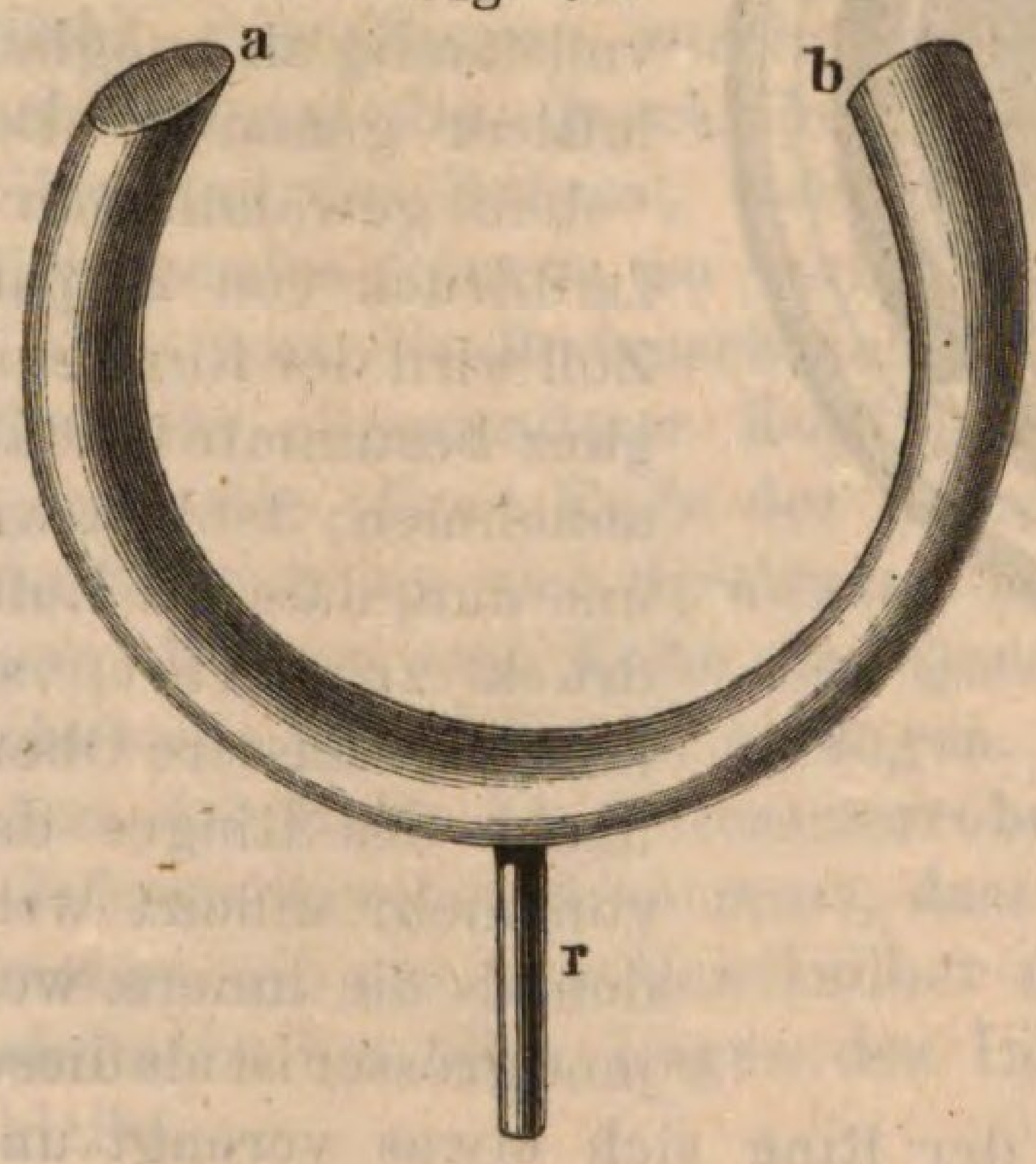
Fig. 66.



Um diese den Veränderungen des Luftdrucks entsprechenden Verengungen und Erweiterungen des Ringes *ABC* dem Auge leicht wahrnehmbar zu machen, wird derselbe in seiner Mitte

in einem dosenförmigen Gehäuse befestigt, so dass seine beiden gleich langen Hälften frei herabhängen und der Einwirkung des Luftdrucks folgen können. Die beiden Enden *A*, *C* des Ringes wirken vermittelst zweier kleiner Gestänge *AE*, *CD* auf die gleich langen Arme eines kleinen, auf der Dosenwand gestützten Hebels *ED* ein, so dass sie sich gegenseitig unterstützen und den Hebel leicht drehen können. Durch die Drehung der Hebelachse wird ein Zahnrechen *ik*, welcher mit seinem Centrum auf der Hebelachse befestigt ist, mit gedreht. Letzterer greift schliesslich in ein kleines Getriebe, dessen Achse einen längeren Zeiger trägt. Es ist leicht einzusehen, wie dieser Hebel- und Zahnmechanismus dazu dient, selbst die kleinsten Bewegungen der Rohrenden *A*, *C* noch wahrnehmbar zu machen, da die Spitze des Zeigers eine weit grössere Bewegung annimmt als die Rohrenden *A* und *C*. Das Rohr *ABC* wird luftleer gemacht, indem man es, wie Fig. 67 zeigt, mit einem Zinnröhrchen *r* versieht und dieses mit der Luftpumpe in Verbindung bringt. Nach geschehener Evacuirung wird das Röhrchen *r* nahe an seiner Ansatzstelle mit einer Flachzange fest zugedrückt, abgeschnitten und verlöthet.

Fig. 67.



Die Eintheilung des Gradbogens geschieht durch Vergleichung des Zeigers mit dem Gange eines gewöhnlichen Quecksilberbarometers.

Wächst der Luftdruck, so verengt sich aus dem angeführten Grunde der Ring und seine freien Enden drehen den Hebel und den Zeiger so herum, dass dieser von links nach rechts wie der Zeiger einer Uhr fortschreitet; nimmt der Luftdruck ab, so findet eine entgegengesetzte Bewegung statt.

Die Bourdon'schen Metallbarometer sind sehr empfindlich und lassen wegen des grossen Spielraums des Zeigers, der wohl drei- bis viermal so gross ist als beim Quecksilberbarometer, die kleinsten Veränderungen in dem Luftdruck wahrnehmen. Dennoch steht es, wenn der Luftdruck mit grosser

Genauigkeit bestimmt werden soll, dem Quecksilberbarometer nach, da es den Einflüssen des Temperaturwechsels weit mehr unterworfen ist als dieses. Es werden daher auch dem Instrumente, wenn es zu wissenschaftlichen Zwecken dienen soll, Correctionstabellen beigegeben, aus denen man den Einfluss der Temperatur leicht entnehmen und demselben bei der Bestimmung des reinen Luftdrucks Rechnung tragen kann. Zu Höhenmessungen hat es bereits vortreffliche Dienste geleistet; ebenso hat Dr. Kane bei seiner Nordpolreise sich desselben mit grossem Nutzen bedient, als ihm das Quecksilberbarometer durch das Gefrieren des Quecksilbers den Dienst versagte.

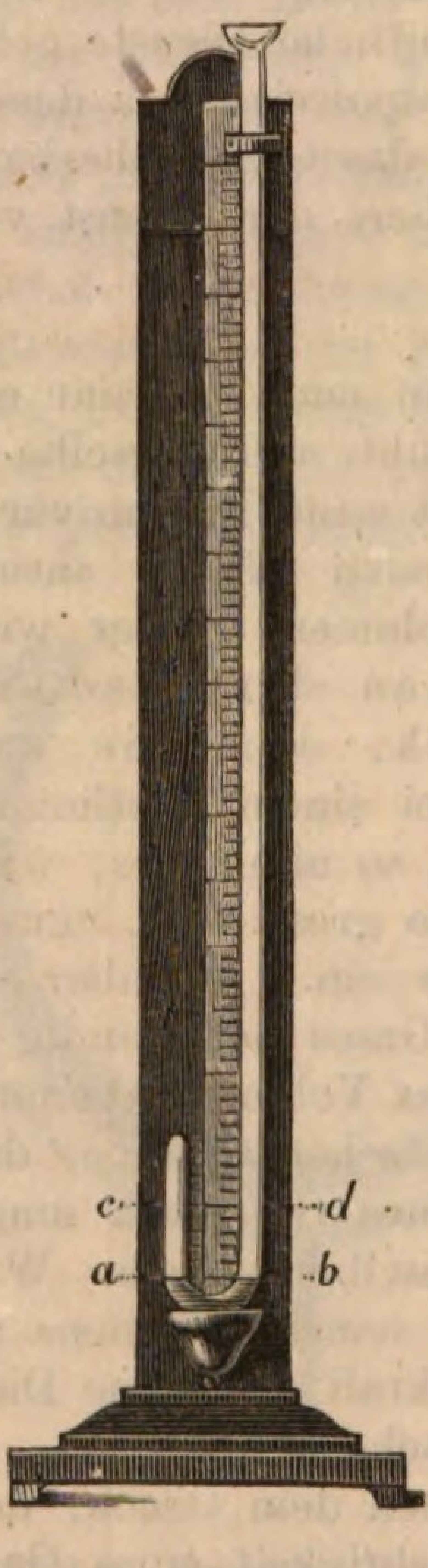
Das Mariotte'sche Gesetz. Wenn man auf eine eingeschlossene Gasmenge einen Druck ausübt und dasselbe in Folge davon comprimirt wird, so wächst seine Expansivkraft und der Druck, den es auf die sperrenden Wände ausübt, nimmt in dem Maasse zu, wie sein Volumen kleiner wird. Mariotte fand nun, dass das Volumen der Gase sich umgekehrt verhält wie der Druck, dem sie ausgesetzt sind. Wenn daher ein Gas bei einem bestimmten Drucke ein gewisses Volumen einnimmt, so nimmt es, wenn der Druck auf dasselbe 2, 3, 4 . . . mal so gross wird, nur $1/2$, $1/3$, $1/4$. . . des ursprünglichen Volumens ein. Da aber die Expansivkraft und die Dichtigkeit eines Gases nothwendig in demselben Verhältnisse zunehmen, wie das Volumen abnimmt, so folgt unmittelbar aus dem Mariotte'schen Gesetze, dass die Expansivkraft und die Dichtigkeit eines Gases im umgekehrten Verhältnisse zu dem Volumen desselben stehen. Wird daher ein Gas auf die Hälfte, ein Drittel seines Volumens zusammengepresst, so wird seine Expansivkraft und seine Dichtigkeit beziehlich das Doppelte, das Dreifache. 43

Die vorstehenden Beziehungen zwischen dem Druck, dem Volumen, der Expansivkraft und der Dichtigkeit eines Gases treffen jedoch nur dann ein, wenn seine Temperatur stets dieselbe bleibt. Presst man ein Gas sehr schnell zusammen, so erhöht sich seine Temperatur; dehnt man es dagegen schnell aus, so nimmt seine Temperatur ab. Will man daher die Richtigkeit des Mariotte'schen Gesetzes nachweisen, so muss dafür gesorgt werden, dass die durch den vermehrten Druck und durch die entsprechende Verminderung des Volumens entstehende Temperaturerhöhung auf den Versuch keinen Einfluss habe, dass also

eine Messung des Volumens nicht eher geschehe, bis sich die Temperatur des Gases mit der Temperatur der umgebenden Luft ausgeglichen hat.

Um das Mariotte'sche Gesetz nachzuweisen, giesst man in eine unten umgebogene Glasröhre, Fig. 68, deren kürzerer Schenkel oben geschlossen, der längere aber oben offen ist, etwas Quecksilber, lässt dann durch Neigen des Apparates etwas Luft aus dem kürzeren Schenkel und bringt es auf diese Weise dahin, dass das Quecksilber in beiden Schenkeln etwa bis zum Niveau *ab* gleich hoch steht. Die Luft, welche in dem kürzeren Schenkel abgesperrt ist, steht dann unter demselben Druck, wie die äussere atmosphärische Luft, da die beiden Quecksilberoberflächen nur dann eine einzige wagerechte Oberfläche bilden können, wenn sie gleichem Drucke ausgesetzt sind. Giesst man nun in die längere Röhre von Neuem Quecksilber, so steigt dieses in dem kürzeren Schenkel in die Höhe und presst die darin enthaltene Luft zusammen; allein es steigt in dem kürzeren Schenkel weit weniger in die Höhe, als in dem längeren. Nehmen wir an, das Quecksilber wäre in dem kürzeren Schenkel bis *c* gestiegen; es besteht dann neuerdings wieder Gleichgewicht, und zwar ist der Druck gegen das Quecksilber in beiden Schenkeln in einer durch *c* gelegten wagerechten Ebene wieder gleich gross; daraus folgt,

Fig. 68.



dass der Druck der in dem kürzeren Schenkel eingeschlossenen Luft gleich ist dem äusseren in dem längeren Schenkel wirkenden Luftdruck, vermehrt um den Druck der Quecksilbersäule, welche in diesem Schenkel oberhalb der wagerechten Ebene *cd* steht. Vergleicht man nun das neue Volumen der eingeschlossenen Luft mit ihrem anfänglichen Volumen, als sie noch unter dem blossen Luftdruck stand, so findet man, dass diese beiden Volumina sich umgekehrt verhalten wie die entsprechenden

Druckkräfte. Wenn z. B. die Luft in dem kürzeren Schenkel nur die Hälfte des anfänglichen Volumens einnimmt, was man leicht an einer zwischen den beiden Schenkeln angebrachten Eintheilung sehen kann, so zeigt sich, dass die über *cd* stehende Quecksilbersäule des längeren Schenkels gerade die Barometerhöhe ausmacht, das Gas also unter dem Drucke von zwei Atmosphären steht. Ist durch das Hinzugiessen von Quecksilber die in dem kürzeren Schenkel abgesperrte Luft auf ein Drittel ihres ursprünglichen Volumens zusammengepresst, so zeigt sich, dass die Höhendifferenz der Quecksilberoberflächen das Doppelte der Barometerhöhe (circa $2 \times 28 = 56$ Zoll) ist und also das Gas unter dem Drucke von drei Atmosphären steht; wäre aber die Luft nur auf zwei Drittel ihres anfänglichen Volumens zusammengepresst worden, so würde die Höhendifferenz der Quecksilberniveaus auch nur die Hälfte der Barometerhöhe (circa 14 Zoll) betragen, so dass dann die Luft unter einem Drucke von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären stände. Auf diese Weise bestätigt es sich für die verschiedensten Grade des Druckes vollständig, dass das Volumen des Gases im umgekehrten Verhältnisse zu dem Drucke steht, der auf dasselbe wirkt.

Die neuesten und zugleich die genauesten Versuche, um die Richtigkeit des Mariotte'schen Gesetzes zu prüfen, sind von Regnault angestellt worden. Dieselben sind bis zu einem Drucke von 28 Atmosphären ausgedehnt worden und lehren, dass das Mariotte'sche Gesetz nicht bis zu jeder Gränze des Druckes vollkommen richtig ist; es zeigen sich besonders dann Abweichungen, wenn das comprimirte Gas sich dem Punkte nähert, wo es anfängt flüssig zu werden. Aber diese Abweichungen sind so gering, dass man sie, ohne einen bemerkbaren Fehler zu begehen, vernachlässigen und das Mariotte'sche Gesetz als vollkommen richtig annehmen darf.

Ausdehnung der Gase. Wenn sich die Temperatur eines Gases verändert, so treten je nach den Umständen, unter denen sich das Gas befindet, verschiedene Erscheinungen ein. Wenn es sein Volumen ungehindert vergrössern oder verkleinern kann, ohne dass der Druck, den die Wände auf dasselbe ausüben, sich verändert, so bewirkt eine Erhöhung der Temperatur eine Ausdehnung, eine Verminderung der Temperatur eine Zusammenziehung des Gases; eine Aenderung in der Temperatur hat dann eine Aenderung des Volumens, nicht aber eine Aenderung in der Expansivkraft im Gefolge. Wenn dagegen das Gas rings 44

von Gefässwänden eingeschlossen ist, die sich nicht verändern, so bewirkt eine Temperaturerhöhung eine Vergrösserung, eine Temperaturerniedrigung eine Verminderung der Expansivkraft.

Die letzte Erscheinung ist eine nothwendige Folge der ersteren, denn wenn die Temperatur eines Gases sich erhöht, ohne dass sein Volumen sich ändert, so kann man sich denken, dass es durch die Wärme zuerst sein Volumen wirklich geändert habe, die Spannung aber dieselbe geblieben sei, und dass es darauf unter Beibehaltung der neuen Temperatur auf sein anfängliches Volumen zusammengepresst worden sei, was dann nothwendig eine Vergrösserung der Expansivkraft zur Folge haben muss. Das Mariotte'sche Gesetz lehrt nun, dass in dem letzteren Falle die Expansivkraft des Gases in demselben Maasse wächst, in welchem die Verminderung des Volumens stattgefunden hat, oder also in dem Verhältnisse des ursprünglichen Volumens zu demjenigen Volumen, welches es in Folge der Temperaturerhöhung eingenommen haben würde, wenn seine Expansivkraft dieselbe geblieben wäre. Wenn daher in Folge einer und derselben Temperaturerhöhung ein Gas sich ausdehnt, ohne seine Expansivkraft zu ändern, oder seine Expansivkraft erhöht, ohne sein Volumen zu ändern, so wächst im ersten Falle sein Volumen in demselben Verhältnisse, wie seine Expansivkraft im zweiten Falle; wenn im ersten Falle das Volumen um die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel . . . des anfänglichen Volumens zunehmen würde, so wird im zweiten Falle seine Expansivkraft ebenfalls um die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel . . . der ursprünglichen Expansivkraft zunehmen.

Gay-Lussac fand, dass bei einem und demselben Druck alle Gase sich bei derselben Temperaturerhöhung gleich stark ausdehnen. Die genaueren Untersuchungen Regnault's haben zwar ergeben, dass dieses nicht ganz genau der Fall ist, aber die Abweichungen von dem Gay-Lussac'schen Gesetze sind so gering, dass man, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, in den mechanischen Rechnungen die Richtigkeit des Gesetzes in allen Fällen annehmen darf.

Nach den Untersuchungen Regnault's wächst das Volumen eines Gases bei constantem Drucke und bei einer Temperaturerhöhung von einem Grade um $\frac{11}{3000}$ oder 0,00366 desjenigen Volumens, welches es bei 0^0 oder der Temperatur des schmelzenden Schnees hat. Mit Rücksicht auf das eben Ge-

sagte nehmen wir für die Folge an, dass dieses für alle Gase ohne Ausnahme stattfindet und nennen jene Zahl den **Ausdehnungscoefficienten** der Gase.

Wenn hiernach irgend eine Luftart bei der Temperatur von 0^0 ein Volumen von 3000 Kubikzoll einnimmt, so hat sie bei der Temperatur von 1^0 ein Volumen von $3000 + 11 = 3011$ Kubikzoll, bei 2^0 ein Volumen von 3022 Kubikzoll, bei 10^0 ein Volumen von 3110 Kubikzoll u. s. w. Ebenso folgt aus dem vorhin Gesagten, dass die Expansivkraft eines Gases, wenn seine Temperatur um 1^0 erhöht wird und sein Volumen dasselbe bleibt, um $\frac{11}{3000}$ oder 0,00366 derjenigen Expansivkraft wächst, welche es bei der Temperatur 0^0 hat. Wenn z. B. die Expansivkraft oder der Druck eines Gases bei 0^0 gleich 2 Zoll Quecksilber (§. 39) wäre, so würde es bei einer Temperatur von 1^0 einen Druck von $2 + 2 \times 0{,}00366 = 2{,}00732$ Zoll Quecksilber, bei 10^0 Temperatur einen Druck von $2 + 10 \times 0{,}00366 = 2{,}0366$ Zoll Quecksilber ausüben, vorausgesetzt, dass sich sein Volumen nicht geändert habe.

Einfluss des Luftdruckes auf das Gleichgewicht der Flüssigkeiten. Bei unseren Untersuchungen in den §§. 13 bis 30 über die freie Oberfläche der Flüssigkeiten haben wir stets angenommen, dass kein Druck auf dieselbe wirke. Diese Voraussetzung ist indessen bei den gewöhnlichen, in der freien Luft befindlichen Flüssigkeiten nicht mehr statthaft, und wir haben daher noch zu untersuchen, inwiefern der Einfluss des Luftdruckes die früher erhaltenen Resultate abändert. 45

1. Wenn eine schwere Flüssigkeit in einem Gefässe im Gleichgewichte ist und kein Druck auf ihre freie Oberfläche wirkt, so ist diese Oberfläche eine wagerechte Ebene (§. 13). Da nun die atmosphärische Luft auf alle Punkte der freien Oberfläche gleich stark drückt, so kann dadurch das Gleichgewicht nicht gestört werden; die freie Oberfläche einer Flüssigkeit ist also auch dann noch eine wagerechte Ebene, wenn sie unter dem Einflusse des Luftdruckes steht.

2. Wenn die Oberfläche einer Flüssigkeit unter dem Drucke der Atmosphäre steht, so ist der Druck auf einen Punkt im Innern der Flüssigkeit oder in der Wand des Gefässes nicht mehr gleich dem Gewichte eines Flüssigkeitsprismas, welches die Einkeit der Fläche zur Basis und den verticalen Abstand des Punktes von der Oberfläche zur Höhe hat, sondern gleich

diesem Gewichte, vermehrt um den Druck der atmosphärischen Luft auf die Einheit der Fläche.

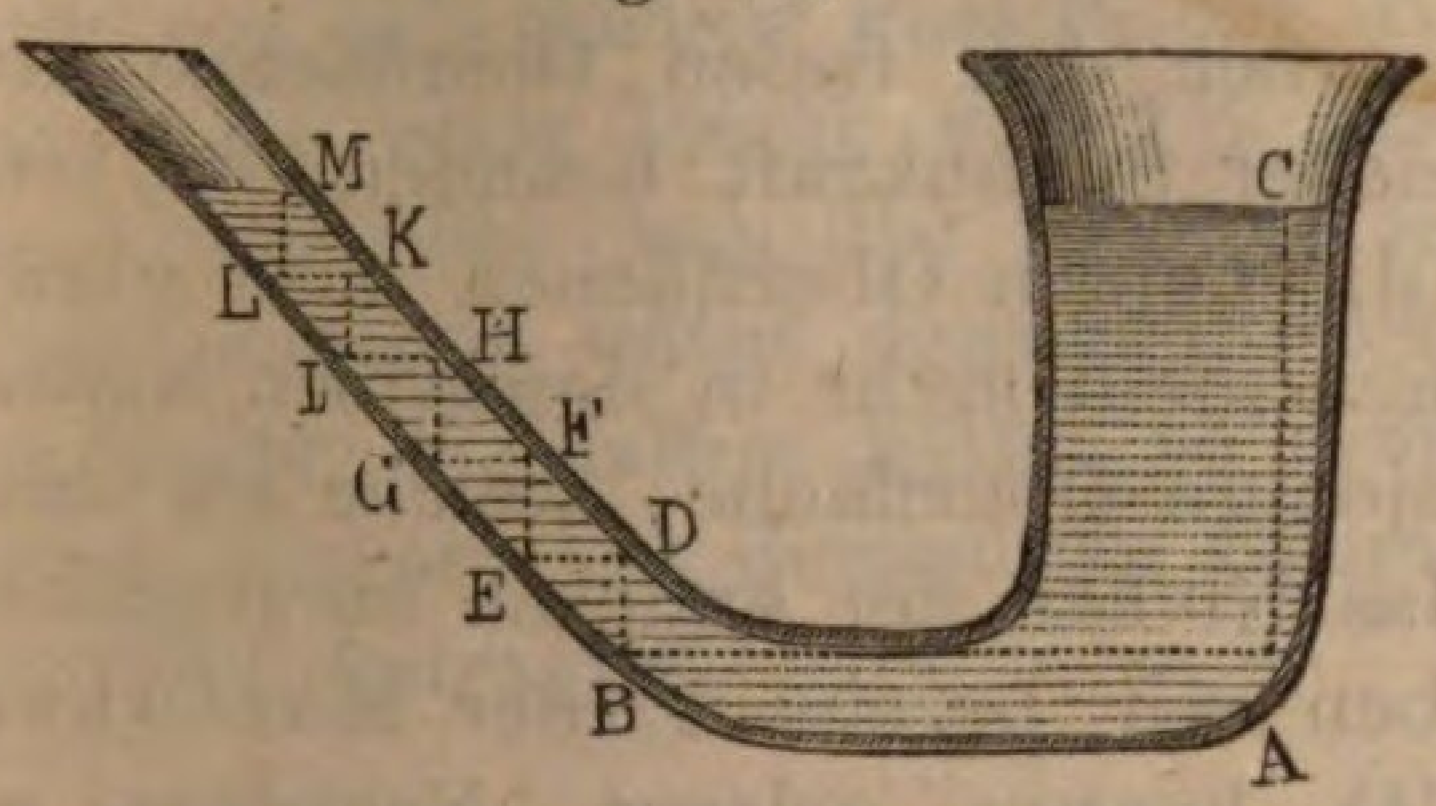
3. Wenn man den Druck einer Flüssigkeit gegen eine bestimmte Wandfläche bestimmen will (§. 16), so muss der atmosphärische Druck mit in Rechnung gebracht werden, da dieser sich durch die ganze Flüssigkeit ungeschwächt fortpflanzt und den durch die Flüssigkeit erzeugten Druck gegen die Gefässwand noch erhöht. Der Totaldruck gegen die Wand wird hierdurch vergrössert und der Mittelpunkt des Druckes (§. 17) liegt nicht mehr in demselben Punkte, wo er liegen würde, wenn die Oberfläche der Flüssigkeit nicht gedrückt wird. Wenn man jedoch den Totaldruck gegen die Gefässwand und den Mittelpunkt des Druckes etwa zu dem Zwecke bestimmen will, um die Kraft und ihren Angriffspunkt zu finden, die man anzuwenden hat, um die Wand zu schützen, damit sie nicht durch den Druck der Flüssigkeit eingedrückt werde, so hat man nur in derselben Weise zu verfahren, als ob der Luftdruck gar nicht vorhanden wäre. Denn wenn einerseits der Luftdruck sich durch die Flüssigkeit bis auf die Gefässwand fortpflanzt und dadurch den durch die Flüssigkeit allein hervorgebrachten Druck vermehrt, so wirkt andererseits derselbe Luftdruck in der entgegengesetzten Richtung auch gegen die Aussenfläche dieser Wand. Diese beiden durch den Luftdruck ausgeübten Druckkräfte heben sich daher in ihren Wirkungen auf die Gefässwand auf und die Wirkung des Gesammtdruckes gegen die Gefässwand ist dieselbe, als ob der Luftdruck gar nicht vorhanden wäre. Die Untersuchungen des §. 17 bezüglich des Druckes einer Flüssigkeit auf eine rechteckige Seitenwand sind also auch noch für den Fall gültig, dass man die Grösse und den Angriffspunkt einer Kraft bestimmen will, welche man anwenden muss, um dem Druck der Flüssigkeit entgegenzuwirken und zu verhüten, dass die Wand eingedrückt werde.

4. Aehnliche Bemerkungen sind zu den Untersuchungen der §§. 18 bis 22 zu machen. Als Druck, von welchem dort die Rede war, hat man den Druck der Flüssigkeiten vermehrt, um den Druck der Luft zu nehmen.

5. Wenn der Luftdruck auf die beiden Oberflächen einer in zwei communicirenden Gefässen befindlichen Flüssigkeit wirkt, so kann das Gleichgewicht nur dann bestehen, wenn die beiden Oberflächen eine einzige wagerechte Oberfläche bilden. Es ist nämlich klar, dass der Druck in A, Fig. 69, gleich ist dem atmosphärischen Drucke auf den Punkt C, vermehrt um

das Gewicht eines Flüssigkeitsprismas, welches die Einheit der Fläche zur Basis und die verticale Linie *AC* zur Höhe hat; ebenso ist der Druck in *B* gleich dem Luftdrucke in *M*, vermehrt um das Gewicht von fünf Flüssigkeitsprismen, die alle die Einheit der Fläche zur Basis und einzeln die verticalen Linien *BD*, *EF*, *GH*, *IK*, *LM* zur Höhe haben. Damit nun die Druckkräfte in *A* und *B* gleich seien, muss die Höhe *AC* gleich der Summe der Höhen *BD*, *EF*, *GH*, *IK*, *LM* sein, oder mit anderen Worten, die Punkte *C* und *M* müssen in einer und derselben wagerechten Ebene liegen.

Fig. 69.



6. Wenn zwei communicirende Gefässe zwei Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit enthalten, und ihre Oberflächen stehen unter dem Luftdrucke, so findet man wie in §. 23, dass die Höhenabstände der Niveaus von der durch die Trennungsschicht gelegten horizontalen Ebene umgekehrt proportional zu den Dichtigkeiten der beiden Flüssigkeiten sein müssen.

7. Endlich hat auch auf die Untersuchungen über die freie Oberfläche einer Flüssigkeit, die beliebig vielen Kräften unterworfen ist, sowie auf die Erscheinungen der Capillarität der Luftdruck nicht den mindesten Einfluss. Die Richtung dieses Druckes ist nämlich für jeden Punkt der Oberfläche eine verticale, und wenn man den Druck, den die Luft auf irgend ein Molekül der Oberfläche ausübt, mit der Resultirenden aus allen auf dieses Theilchen wirkenden Molekularkräften zusammensetzt, so gelangt man zu einer Hauptresultirenden, für welche alles das gilt, was in den §§. 24 und 28 über die Resultirende der Molekularkräfte allein gesagt worden ist. Diese Hauptresultirende steht senkrecht oder schief zu der Oberfläche, je nachdem die Resultirende der Molekularkräfte allein senkrecht oder schief dazu steht; da nun alle früheren Untersuchungen sich ausschliesslich auf die Richtung dieser Resultirenden stützten, so ist klar, dass wir zu denselben Resultaten kommen, ob wir dabei den Luftdruck mit in Betracht ziehen oder nicht.

Communicirende Gefässe unter ungleichem Drucke. 46
Wenn in zwei communicirenden Gefässen eine Flüssigkeit im Gleichgewichte ist, und entweder gar kein Druck oder der

Luftdruck gleichmässig auf alle Punkte der beiden freien Oberflächen wirkt, so müssen diese beiden Oberflächen eine wagerechte Ebene bilden (§§. 22 und 45). Dieses ist aber nicht mehr der Fall, wenn sich über den freien Oberflächen der Flüssigkeit Gase von ungleicher Spannkraft befinden; da jetzt der Druck dieser Gase auf die beiden Oberflächen nicht gleich gross ist, so können diese auch nicht mehr in demselben Niveau bleiben, und zwar wird diejenige Oberfläche, welche am meisten gedrückt wird, unter das Niveau der anderen herabsinken.

Ein Beispiel hierzu haben wir bereits in der Mariotte'schen Röhre, Fig. 68 (S. 74), kennen gelernt. Nachdem wir Quecksilber in die Röhre gegossen und damit die in dem kürzeren Schenkel eingeschlossene Luft comprimirt hatten, stand das Quecksilber in beiden Schenkeln der Röhre ungleich hoch, und der Höhendifferenz der beiden Quecksilbersäulen entsprach eine Differenz in dem Drucke der eingeschlossenen comprimirten Luft und der freien atmosphärischen Luft. Wir brauchen die daselbst geführten Untersuchungen hier nur zu wiederholen, um zu dem allgemeinen Schlusse zu gelangen, dass die Höhendifferenz der beiden freien Oberflächen einer in zwei communicirenden Gefässen befindlichen Flüssigkeit gleich ist der Höhe eines Flüssigkeitsprismas, welches die Einheit der Fläche zur Basis hat und dessen Gewicht gleich ist der Differenz der beiden Druckkräfte, welche bezogen auf die Einheit der Fläche gegen die beiden Oberflächen wirken.

Wenn auf die eine der beiden Oberflächen ein Druck von 10 Loth pro Quadratzoll, auf die andere von 25 Loth pro Quadratzoll wirkt, und das Gefäss Wasser enthält, so beträgt die Höhendifferenz der beiden Oberflächen, 1 Kubikzoll Wasser zu 1 Loth angenommen, 15 Zoll, weil die Wassersäule auf der Seite, wo der Druck gegen die Oberfläche nur 10 Loth pro Quadratzoll beträgt, im Vergleich zu der anderen Seite um so viel höher sein muss, dass der Ueberdruck der Flüssigkeit 15 Loth beträgt. Da nun die Einheit der Fläche zu 1 Quadratzoll und das Gewicht von 1 Kubikzoll Wasser zu 1 Loth angenommen ist, so muss die genannte Flüssigkeitssäule, um einen Druck von 15 Loth ausüben zu können, 15 Zoll hoch sein. Wenn bei derselben Annahme, dass das Gefäss Wasser enthalte, der Druck auf die eine Oberfläche $\frac{1}{2}$ Atmosphäre, auf die andere 3 Atmosphären beträgt, so steht die erstere Oberfläche $78\frac{3}{4}$ Fuss höher, als die letztere; damit nämlich Gleichgewicht bestehen

könne, muss zu dem Drucke von $1/2$ Atmosphäre auf der einen Seite noch ein Wasserüberdruck von $2^1/_2$ Atmosphären hinzukommen. Da nun 1 Atmosphäre gleich ist dem Drucke einer Wassersäule von $31^1/_2$ pariser Fuss (§. 39), so muss die gedachte Wassersäule, um einen Druck von $2^1/_2$ Atmosphären ausüben zu können, eine Höhe von $2^1/_2 \times 31^1/_2 = 78^3/_4$ pariser Fuss haben. Wenn dagegen unter denselben Druckverhältnissen das Gefäss Quecksilber enthalten hätte, so würde die Höhendifferenz der beiden Niveaus aus demselben Grunde nur $2^1/_2 \times 28 = 70$ pariser Zoll betragen.

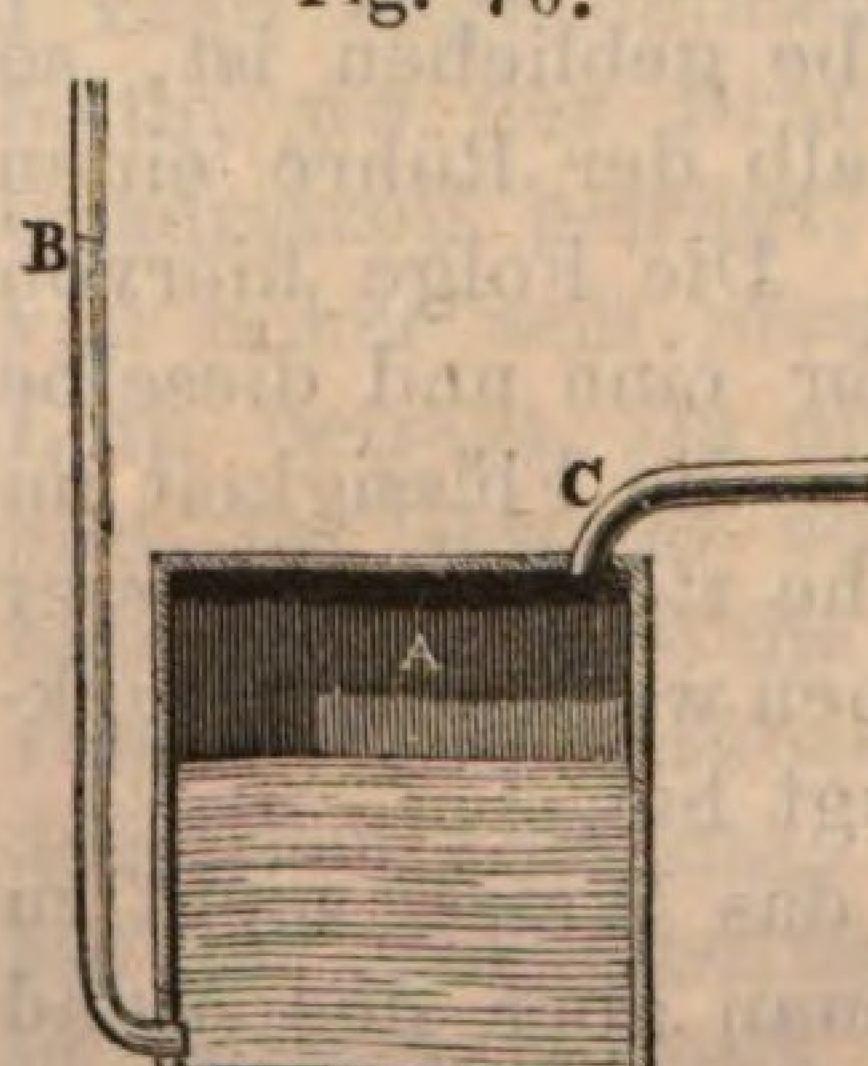
Heben der Flüssigkeiten durch Saugen. Wenn man 47
das eine Ende einer Glasröhre in das Wasser eines Gefässes steckt, und darauf mit dem Munde an dem anderen Ende die darin enthaltene Luft aufsaugt, so sieht man das Wasser sofort in die Röhre steigen, und zwar um so höher, je kräftiger man gesaugt hat. Diese Erscheinung ist eine blosse Folge des in dem vorigen Paragraphen ausgesprochenen Princips. Wenn man nämlich den Mund an das aus dem Wasser hervorragende Ende der Glasröhre anlegt, so ist die in der Röhre enthaltene Luft von der äusseren Luft ganz abgeschlossen, steht aber mit der Luft im Munde und in den Lungen in Verbindung und bildet auf diese Weise mit dieser Luft eine rings eingeschlossene Gasmenge. Das Saugen ist nun nichts weiter, als eine Erweiterung des von den Lungen eingenommenen Raumes; saugt man also, so dehnen sich die Lungen aus, die gesammte damit in Verbindung stehende Luft nimmt ein grösseres Volumen ein und die Expansivkraft derselben wird kleiner. Der Druck, den die Luft in dem Saugrohre auf die Oberfläche des darin enthaltenen Wassers ausübt, wird daher kleiner, als er anfänglich war, also kleiner als der Druck der äusseren atmosphärischen Luft; da nun dieser letztere Druck derselbe geblieben ist, so erleidet die Oberfläche des Wassers innerhalb der Röhre einen kleineren Druck, als ausserhalb derselben. Die Folge hiervon ist, dass die beiden Oberflächen nicht mehr eine und dieselbe wagerechte Ebene bilden können, und dass die Flüssigkeit im Innern des Rohres um so mehr in die Höhe steigt, je grösser der Unterschied der beiden auf die Oberflächen wirkenden Druckkräfte ist, das heisst, je stärker man gesaugt hat.

Das Aufsaugen mit dem Munde kann das Wasser nicht zu einer bedeutenden Höhe bringen; ersetzt man aber den Mund durch eine Luftpumpe und zieht man damit aus dem längeren

Saugrohre die Luft immer mehr aus, so steigt auch das Wasser immer höher. Es ist jedoch wohl zu beachten, dass die Höhe, zu welcher auf diese Weise das Wasser durch Saugen gebracht wird, eine gewisse Gränze nicht überschreiten kann. Der Unterschied in dem Drucke auf die beiden Oberflächen der Flüssigkeit im Innern des Saugrohres und ausserhalb desselben kann nämlich nie grösser werden, als der Druck der Atmosphäre, weil die grösste dieser Druckkräfte der Atmosphärendruck selbst ist. Die durch die Ungleichheit dieser beiden Druckkräfte entstehende Differenz in den beiden Niveaus der Flüssigkeit kann daher auch nie grösser sein, als die Höhe einer Wassersäule, welche im Stande ist, dem vorhandenen Atmosphärendrucke das Gleichgewicht zu halten. Wenn bei dem Versuche der Barometerstand 28 Zoll ist, so kann das Wasser in dem Saugrohre auch nicht höher als $31\frac{1}{2}$ Fuss über das äussere Niveau aufsteigen, und würde der Versuch auf einem hohen Berge angestellt, wo der Barometerstand geringer ist, als 28 Zoll, so kann daselbst der Luftdruck das Wasser nicht einmal mehr auf die Höhe von $31\frac{1}{2}$ Fuss bringen.

48 **Das Heben der Flüssigkeiten durch Pressung.** Wenn man die Luft, welche sich in zwei communicirenden Gefässen über dem einen Niveau der Flüssigkeit befindet, nicht, wie im vorigen Paragraphen, durch Saugen verdünnt oder ganz weggeschafft, sondern im Gegentheil auf irgend eine Weise verdichtet und dadurch ihre Expansivkraft vermehrt, so entsteht eine Veränderung der Niveaus in der entgegengesetzten Richtung. Die Oberfläche, welche auf diese Weise einem stärkeren Druck ausgesetzt ist, sinkt und das andere Niveau wird auf eine entsprechende Höhe gehoben. Wenn z. B. der geschlossene und an seinem unteren Theile mit dem Rohre *B*, Fig. 70, frei communicirende Behälter *A* Wasser enthält, so steht dieses in dem Behälter wie in dem Rohre gleich hoch, so lange der Druck auf jedes der beiden Niveaus gleich ist. Wenn man nun durch ein anderes Rohr *C* auf irgend eine Weise in den oberen Theil des Behälters anhaltend Luft einbläst, so wird die Expansivkraft dieser Luft immer mehr vergrössert, während der Druck auf die Oberfläche des Wassers in dem Rohre

Fig. 70.



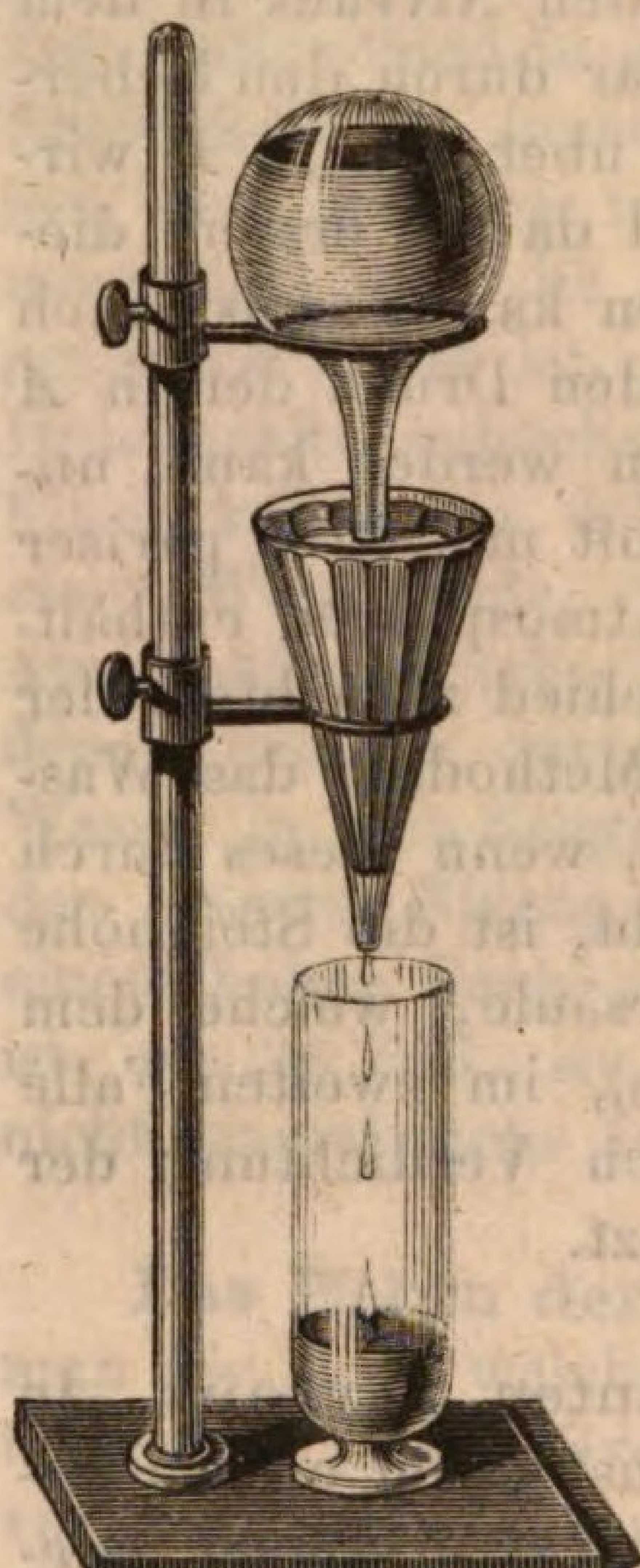
B unverändert gleich dem atmosphärischen Druck bleibt. Die Folge hiervon ist, dass der überwiegende Druck der Luft das Wasser aus dem Behälter *A* immer höher in das Rohr *B* hinauftreibt. Der Höhenunterschied der beiden Niveaus in dem Behälter und in dem Rohre ist hier offenbar durch den Ueberschuss des Druckes in dem Behälter *A* über den in *B* wirkenden Atmosphärendruck bestimmt, und da die erstere dieser beiden Druckkräfte unbegränzt wachsen kann, so ist auch die Höhe, auf welche das Wasser durch den Druck der in *A* befindlichen Luft in dem Rohre *B* gehoben werden kann, unbegränzt; diese Höhe beträgt nämlich so oft mal $31\frac{1}{2}$ pariser Fuss, als der Ueberdruck der Luft in *A* Atmosphären enthält.

Es ist sehr wichtig, auf den Unterschied zu achten, der zwischen den beiden eben beschriebenen Methoden, das Wasser zu heben, besteht; im ersteren Falle, wenn dieses durch Saugen oder Verdünnung der Luft geschieht, ist die Steighöhe höchstens gleich der Höhe einer Wassersäule, welche dem Luftdruck das Gleichgewicht hält ($31\frac{1}{2}$ Fuss), im zweiten Falle aber, wenn das Heben des Wassers durch Verdichtung der Luft geschieht, ist die Steighöhe unbegränzt.

Mittel zur Erhaltung eines constanten Niveaus. In
vielen Fällen ist es wünschenswerth, das Ausfliessen einer Flüs- 49
sigkeit aus einem Gefässe durch den Zufluss aus einem anderen Gefässe so zu reguliren, dass das Niveau in dem ersteren Gefässe constant bleibt. Man kann dieses auf verschiedene Weise erreichen; es mag aber hier genügen, die eine Art und Weise näher zu beschreiben, wie dieses geschieht, wenn man eine grössere Quantität irgend einer Flüssigkeit zu filtriren hat. Oberhalb des Gefässes, in welchem das Niveau constant erhalten werden soll, Fig. 71 (a. f. S.) (dieses Gefäss ist hier der das Papierfilter enthaltende Trichter), wird ein anderes Gefäss, welches mit der abzufiltrirenden Flüssigkeit angefüllt ist, in umgekehrter Stellung so angebracht, dass seine etwas verengte Oeffnung sich noch eben unter dem Niveau der Flüssigkeit im Trichter befindet. Da die in dem oberen Gefässe enthaltene Luft nicht mehr mit der äusseren Luft in Verbindung steht, so kann die Flüssigkeit so lange nicht aus demselben ausfliessen, als die Oeffnung noch unter dem Niveau des Trichters steht. Diese Flüssigkeit wird nämlich durch den äusseren Luftdruck, der sich durch die Flüssigkeit des Trichters nach allen Richtungen auch auf die Oeffnung des Gefässes fortpflanzt und

von dem schwächeren Druck der in dem Gefässe enthaltenen Luft nicht aufgehoben wird, getragen. Wenn nun durch das

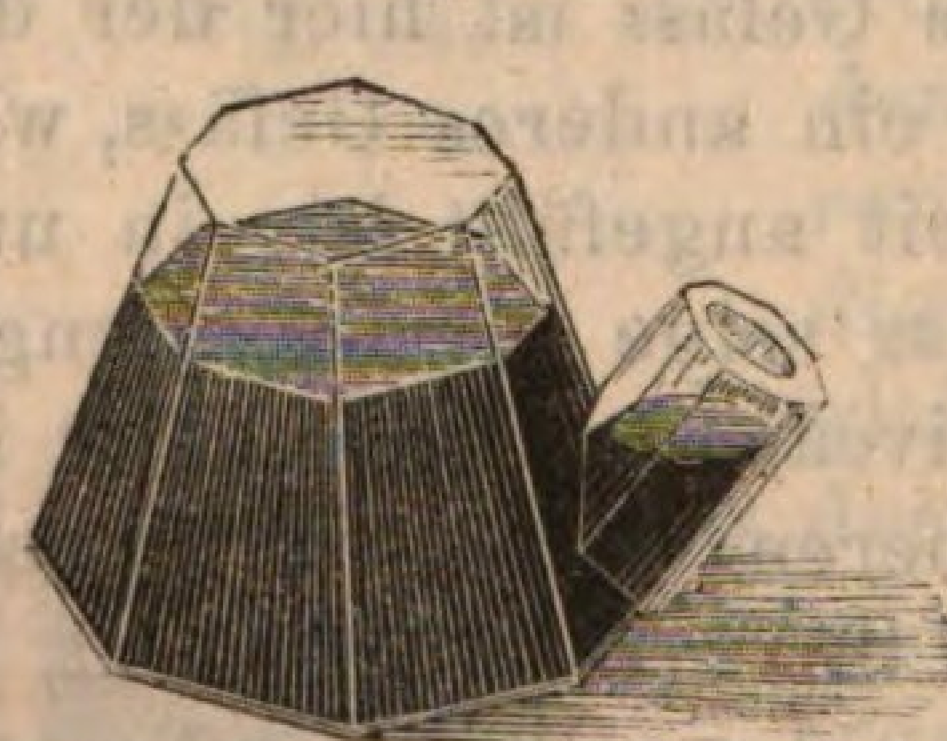
Fig. 71.



Ausfliessen der Flüssigkeit aus dem Trichter das Niveau in demselben sinkt, und so die Oeffnung des oberen Gefässes frei wird, so dringt eine Luftblase durch diese Oeffnung in das Gefäss; dieselbe steigt durch die Flüssigkeit in die Höhe, tritt über dieselbe und vermehrt für einen Augenblick die Spannkraft der in dem Gefässe bereits vorhandenen Luft. In Folge dieser vergrösserten Spannkraft aber wird etwas Flüssigkeit aus dem Gefässe in den Trichter herausgetrieben, das Niveau steigt wieder in dem letzteren und verschliesst die Oeffnung des oberen Gefässes von neuem. Wenn das Niveau in dem Trichter wieder fällt, dringt abermals eine Luftblase in das Gefäss, welche ihrerseits wieder eine kleine Quantität Flüssigkeit aus dem Gefässe verdrängt und dadurch ein abermaliges Steigen des Niveaus im Trichter zur Folge hat. Auf diese Weise wird das Niveau in dem unteren Gefässe, dem Trichter, so lange constant erhalten, als noch Flüssigkeit in dem oberen Gefässe enthalten ist.

Wir werden später sehen, wie dieses Princip bei den sogenannten Schiebelampen angewandt wird, um das Niveau des Oels an dem Dochte stets auf derselben Höhe zu erhalten.

Fig. 72.



Bei dem, Fig. 72, abgebildeten Dintenfasse geht etwas Aehnliches vor. Ist dasselbe einmal gefüllt, so dann aus dem Hauptgefässe nur kann wieder etwas Dinte in das seitliche oben offene Eintauchrohr eintreten, wenn in demselben die Flüssigkeit so weit gesunken ist, dass eine Luftblase in das Hauptgefäss eindringen kann.

50 **Sicherheitsröhren.** Auf der Ungleichheit des Druckes, der auf die beiden Oberflächen einer Flüssigkeit in communi-

cirenden Gefässen wirkt, beruht auch die Wirkung der Sicherheitsröhren, die bei chemischen Arbeiten angewandt werden, um die Unfälle zu vermeiden, die durch eine zu grosse Ungleichheit zwischen dem Druck eines in einem Gefässe enthaltenen Gases und dem äusseren Luftdruck entstehen könnten. Wenn nämlich die Spannkraft eines in einem Gefässe enthaltenen Gases zu gross wird, so kann das Gefäss leicht springen; ist aber der Druck des Gases im Innern des Gefässes zu klein, so kann die Ueberwucht der äusseren Luft andere Flüssigkeiten, die etwa durch Röhren mit dem ersteren Gefässe in Verbindung stehen, leicht in dieses Gefäss hineintreiben und dadurch wieder heftige chemische Einwirkungen und Explosionen herbeiführen. Um diesen Unfällen vorzubeugen, verbindet man mit dem Gasentbindungsapparate eine zweimal umgebogene, in der Mitte mit einer Kugel *b* und an dem freien Ende *c* mit einem Trichter versehene Röhre, Fig. 73, und füllt dieselbe zum Theil mit Wasser oder Quecksilber an. Diese Flüssigkeit, die sich in dem tieferen Theile der Umbiegung ansammelt, schneidet die Verbindung des einen äusseren Theiles *c* der Röhre mit dem anderen nach dem Innern des Gasapparates führenden Theile *a* ab, so dass das in diesem Apparate enthaltene Gas in der Sicherheitsröhre nur bis zu der Kugel *b* gelangen, aber nicht durch die Flüssigkeit aus dem freien Ende *c* ins Freie entweichen kann. Wenn nun der Druck des Gases im Innern des Apparates gleich dem äusseren Luftdruck ist, so stehen die beiden Niveaus der Flüssigkeit in der Sicherheitsröhre genau gleich hoch; ist dieses aber nicht der Fall, so sinkt das Niveau auf der Seite, wo der Druck am stärksten ist, und steigt, wo er am schwächsten ist; der Unterschied in der Höhe beider Niveaus entspricht genau dem Unterschiede in den beiden darauf wirkenden Druckkräften. Wenn das Gas im Innern des Apparates eine zu grosse Spannung bekommt, so treibt es zunächst die Flüssigkeit aus der Kugel *b* in das Rohr *c* und den Trichter, wird die Spannung noch grösser, so schleudert es die Flüssigkeit ganz aus der Röhre heraus und entweicht ins Freie; seine Spannkraft nimmt sofort ab und die Gefahr einer Explosion ist vorüber. Wenn im Gegentheil die Spannung des Gases im Innern des Apparates abnimmt und ein Zurücktreten

Fig. 73.



der äusseren Flüssigkeit eintreten könnte, so tritt zunächst die ganze in der Sicherheitsröhre enthaltene Flüssigkeit in die Kugel *b*, und es dringen Luftblasen, welche wegen der geringen Druckhöhe der Flüssigkeit in der Kugel leicht dieselbe passiren können, eine nach der anderen durch das Rohr *a* in den Gasapparat; hierdurch wird dann die Spannung des eingeschlossenen Gases schnell wieder erhöht und so jedem Unfall vorgebeugt.

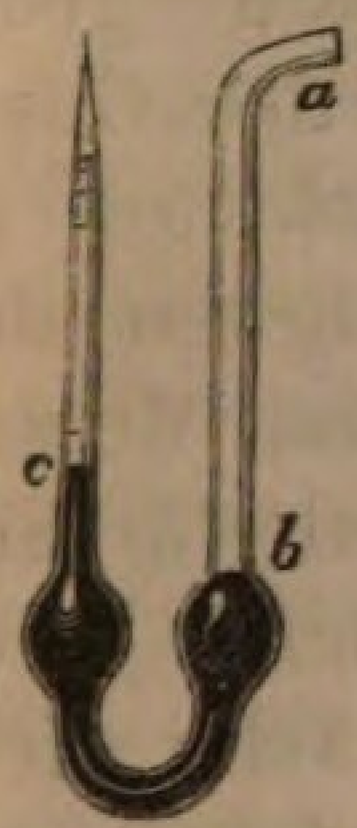
51 **Manometer.** Um die Expansivkraft eines in einem geschlossenen Gefässe enthaltenen Gases zu messen, wendet man Vorrichtungen an, die den Namen Manometer führen. Wir kommen später bei der Messung der Spannkraft der Dämpfe auf die Einzelnheiten ihrer Einrichtung zurück, und gehen hier nur auf das Princip etwas näher ein, auf dem ihre Construction beruht. Man theilt dieselben ein in offene und geschlossene Quecksilbermanometer; eine dritte Art, unter dem Namen der Metallmanometer bekannt und sehr häufig angewandt, werden wir ebenfalls erst später beschreiben.

Ein offenes Quecksilbermanometer ist eine zweimal gebogene Röhre ganz nach Art der eben beschriebenen Sicherheitsröhre, mit dem alleinigen Unterschiede, dass die Länge des oben offenen Schenkels *c*, Fig. 73, bei dem Manometer meist viel länger ist, als in der Sicherheitsröhre. Der Ueberschuss in der Spannkraft des Gases über den Druck der atmosphärischen Luft treibt das Quecksilber aus dem kürzeren Schenkel *b* in den längeren *c*, und aus der Höhendifferenz der Quecksilberniveaus in den beiden Schenkeln lässt sich leicht die Anzahl der Atmosphären bestimmen, um welche die Spannkraft des Gases grösser ist, als die der äusseren atmosphärischen Luft. Wenn z. B. diese Höhendifferenz der Quecksilberniveaus 28 Zoll beträgt, so ist der Druck des Gases zwei Atmosphären; es hat also eine Atmosphäre Ueberdruck über die äussere atmosphärische Luft; steht das Quecksilber in dem längeren Schenkel *c* 2×28 Zoll höher als in dem kürzeren Schenkel *b*, so hat das Gas eine Spannung von drei Atmosphären u. s. w. Ein in Zoll eingetheilter Maassstab, der neben dem längeren Schenkel angebracht ist, zeigt den Gasdruck unmittelbar in Atmosphären und den Unterabtheilungen derselben an.

52 **Geschlossenes Quecksilbermanometer.** Das geschlossene Manometer hat eine ähnliche Einrichtung wie das offene

aber der Schenkel *c*, Fig. 74, in welchen das Quecksilber durch den Druck des Gases hineingepresst wird, ist an seinem oberen Ende geschlossen, während er bei dem vorhin beschriebenen Instrumente offen ist. Der Raum oberhalb des Quecksilbers in dem geschlossenen Schenkel *c* ist mit Luft angefüllt,

Fig. 74.



welche macht, dass das Quecksilber wie in der Mariotte'schen Röhre, Fig. 68, auch wenn das Gas in dem Schenkel *a b* denselben Druck ausübt, doch darin nicht so hoch steigen kann, als in dem offenen Manometer. In dem Maasse nämlich, wie das Quecksilber in *c* steigt, wird die darüber befindliche Luft comprimirt; es ist also die erhöhte Spannkraft dieser comprimirten Luft in Verbindung mit dem Ueberdruck des Quecksilbers in dem Schenkel *c*, welche dem Druck des Gases in dem Schenkel *ab* das Gleichgewicht hält. Wenn z. B. die in *c* enthaltene Luft nur noch die Hälfte des Volumens einnimmt, welches sie unter dem Druck der atmosphärischen Luft eingenommen hat, so ist ihre Spannkraft doppelt so gross als sie anfänglich war; der Druck des Gases in *b* ist dann gleich zwei Atmosphären, vermehrt um den Bruchtheil einer Atmosphäre, welcher der Höhendifferenz der beiden Quecksilberniveaus in *b* und *c* entspricht. Die Röhre *c* ist so eingetheilt, dass man den Druck des Gases in *ab* aus dem Stande des Quecksilberniveaus in *c* ohne Weiteres ablesen kann.

Wenn ein geschlossenes Manometer den Druck eines Gases, welches auf dasselbe wirkt, immer richtig angeben soll, so muss die in dem eingetheilten Rohre eingeschlossene Luft stets diejenige Temperatur haben, welche sie bei der Eintheilung des Rohres besass. Wir haben nämlich (§. 44) gesehen, dass die Temperaturänderungen auf die Spannkraft eines eingeschlossenen Gases von grossem Einflusse sind. Wenn man daher mittelst eines geschlossenen Manometers den Druck eines Gases bei anderen Temperaturen, als bei welchen es eingetheilt worden ist, messen will, so kann es leicht vorkommen, dass das erhaltene Resultat durchaus unrichtig ist.

Gleichgewicht der Flüssigkeiten und der Gase bei 53
ungleicher Erwärmung ihrer einzelnen Theile. Wir haben gefunden, dass eine Flüssigkeit oder ein Gas unter dem alleinigen Einflusse der Schwere nur dann im Gleichgewichte sein kann, wenn der Druck in allen Punkten einer und derselben

wagerechten Ebene gleich gross ist (§. 6 u. 34); diese Bedingung kann jedoch nur dann erfüllt werden, wenn die Temperatur für alle solche Punkte dieselbe ist. Denn nehmen wir an, dass eine Flüssigkeit oder ein Gas durch sehr viele und einander sehr nahe liegende wagerechte Ebenen in eine Menge dünner Schichten getheilt und die Temperatur nicht in allen Punkten einer und derselben Schicht gleich gross sei, so ist auch die Dichtigkeit der Flüssigkeit oder des Gases (mit sehr wenigen Ausnahmen) bei demselben Druck um so geringer, je höher die Temperatur ist. Die Dichtigkeit der Flüssigkeit würde daher in den verschiedenen Theilen derselben Schicht verschieden sein; wenn daher der Druck für alle Punkte in der oberen Gränzfläche dieser Schicht gleich gross ist, so könnte er für alle Punkte der unteren Gränzfläche nicht mehr gleich sein, weil dieser Druck durch das Gewicht eines Flüssigkeitsprismas bestimmt wird, das zwischen zwei in derselben Verticallinie liegenden Punkten der oberen und unteren Gränzfläche enthalten ist, und dieses Gewicht für die verschiedenen Theile derselben Schicht ungleich ist. Eine Ungleichheit der Temperatur für die verschiedenen Punkte einer und derselben horizontalen Schicht ist daher mit dem Gleichgewicht der Flüssigkeit oder des Gases nicht verträglich, weil sie nothwendig eine Ungleichheit in dem Druck für die einzelnen Punkte einer und derselben wagerechten Ebene im Gefolge hat. Hieraus folgt, dass eine Flüssigkeit oder ein Gas, deren einzelne Theile ungleich erwärmt sind, nur dann im Gleichgewicht sein kann, wenn in den einzelnen Punkten einer jeden horizontalen Schicht dieselbe Temperatur herrscht. Diese übereinander gelagerten Schichten verhalten sich ebenso, wie verschiedenartige Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit, die bekanntlich nur dann im Gleichgewichte sein können, wenn die einzelnen Trennungsschichten zwischen je zwei sich berührenden Flüssigkeiten wagerechte Ebenen sind (§. 21). Da das stabile Gleichgewicht überdies fordert, dass die dichtere Flüssigkeit die tiefste Stelle einnimmt und die Dichtigkeiten von unten nach oben abnehmen, so wird im Allgemeinen auch die Temperatur der Flüssigkeit von unten nach oben zunehmen.

Das letztere Resultat erleidet jedoch einige wenige Ausnahmen. Es ist bekannt, dass die Dichtigkeit des Wassers im Allgemeinen ebenfalls mit zunehmender Temperatur abnimmt, indessen ist dieses nicht mehr der Fall innerhalb der Gränzen von 0^0 bis $4{,}1^0$. Das Wasser hat nämlich bei $4{,}1^0$ seine grösste

Dichtigkeit, und wenn man es unter dieser Temperatur bis auf 0° noch mehr erkaltet, so dehnt es sich aus, anstatt der gewöhnlichen Regel zu folgen und sich zusammenzuziehen. Wird umgekehrt das Wasser von 0° erwärmt, so zieht es sich so lange zusammen und wird immer dichter, bis es die Temperatur von 4,1° erreicht hat. Erst von nun an dehnt es sich bei weiterer Erwärmung wieder aus. Diese Eigenthümlichkeit hat nothwendig auch eine andere Aufeinanderfolge der einzelnen Flüssigkeitsschichten des Wassers zur Folge, sobald diese Temperaturen besitzen, die zwischen 0° und 4,1° liegen.

Denken wir uns, eine grössere Wassermasse, ein Fluss, ein See, das Meer, habe eine höhere Temperatur als 4,1°, und sie erkalte von nun an an der Oberfläche immer mehr, so zieht sich das Wasser immer mehr zusammen, wird dichter und schwerer und sinkt zu Boden, während das untere wärmere und daher leichtere Wasser an dessen Stelle steigt, daselbst ebenfalls abgekühlt wird und dann aus gleichem Grunde wieder zu Boden sinkt. Dieser Kreislauf, der eine sehr rasche Abkühlung der ganzen Wassermasse zur Folge hat, geht so lange fort, bis die Temperatur derselben auf 4,1° herabgekommen ist. Bei weiterer Abkühlung des Wassers an der Oberfläche zieht sich dieses nun nicht mehr zusammen, sondern dehnt sich aus und bleibt, weil es dadurch leichter geworden ist, an der Oberfläche.

Endlich ist die Temperatur des Wassers an der Oberfläche auf 0° herabgesunken, es gefriert und wird zu Eis. Das Eis von 0° ist daher auch weniger schwer, als das wärmere darunter befindliche Wasser und schwimmt oben auf dem Wasser, während die meisten übrigen festen Körper (Eisen, Blei u. s. w.) in den geschmolzenen Massen derselben Art zu Boden sinken. In dieser Lage ist es dann eine Schutzdecke gegen die weitere rasche Abkühlung der darunter befindlichen Wassermassen, so dass das dichtere Wasser auf dem Boden der Flüsse u. s. w. beständig die Temperatur von 4,1° behält, welches für die Erhaltung des Lebens aller im Wasser lebenden Geschöpfe hinreichend ist. Das Wasser kann aus diesem Grunde nie vom Boden aus nach der Oberfläche hin gefrieren, sondern nur in umgekehrter Ordnung von der Oberfläche zum Boden hin, weil sich hier das schwerere, dichtere und zugleich wärmere, an der Oberfläche aber das leichtere und kältere Wasser befindet.

Würde das Wasser keine Ausnahme machen und nähme dasselbe mit fortschreitender Abkühlung fortwährend an Dichte

zu, so würde der oben beschriebene Kreislauf des Sinkens und des Aufsteigens der Wassermassen fortdauern, bis die ganze Wassermasse die Temperatur 0^0 und damit an allen Stellen gleiche Dichtigkeit angenommen hätte.

Eine über diesen Punkt hinausschreitende Abnahme der Temperatur müsste dann sofort die Eisbildung zur Folge haben, die nun nicht mehr langsam von der Oberfläche nach dem Boden hin, sondern, weil an allen Stellen die ganze Flüssigkeit die gleiche Temperatur von 0^0 hat, fast plötzlich durch die ganze Flüssigkeitsmasse hindurch vom Boden bis zur Oberfläche sich verbreiten müsste. Abgesehen davon, dass unter solchen Umständen selbst eine nicht grosse und nicht lange andauernde Winterkälte hinreichend wäre, die ganze Wassermasse der Flüsse, Seen u. s. w. von unten herauf in Eis zu verwandeln und damit alle darin lebenden Wesen zu vernichten, so würde auch der heisseste Sommer kaum im Stande sein, solche Massen von Eis wieder zu schmelzen. Die gemässigten Zonen würden dann wegen ihres sibirischen Klimas kaum bewohnbar bleiben, überhaupt das Leben der Erde sich auf einen schmalen Gürtel zu beiden Seiten des Aequators zurückziehen.

Wenn ein Gas von gleichförmiger Temperatur im Gleichgewicht ist, so sind die oberen Schichten weniger dicht als die unteren (§. 35); wenn man dann die oberen Schichten erkalten lässt, so ziehen sie sich zusammen und werden dichter; treibt man aber diese Temperaturerniedrigung nicht zu weit, so wird die Dichtigkeit dieser höher gelegenen Schichten zunehmen, ohne jedoch die der tiefer gelegenen zu erreichen, so dass das Gleichgewicht immer noch bestehen bleibt, obgleich die Temperatur von unten nach oben abnimmt. Letzteres ist wirklich der Fall bei der atmosphärischen Luft; die in den einzelnen horizontalen Schichten herrschenden Dichtigkeiten nehmen von unten nach oben immer mehr ab, während zugleich die Temperaturen in derselben Richtung ebenfalls abnehmen.

54 **Störung des Gleichgewichtes der Flüssigkeiten und der Luft durch ungleiche Erwärmung.** Wenn eine Flüssigkeit im Gleichgewichte ist, und man erwärmt von innen oder von aussen einen Theil der Gefässwand, so theilt sich die Wärme durch diese Wand der Flüssigkeit mit und das Gleichgewicht wird gestört. Die erwärmte Flüssigkeit dehnt sich aus, wird leichter und steigt in die Höhe, Fig. 75; ein anderer

Theil der Flüssigkeit tritt an ihre Stelle, erwärmt sich ebenfalls und steigt ebenfalls wieder in die Höhe, so dass ein beständiger Kreislauf der einzelnen Flüssigkeitstheilchen so lange stattfindet, bis die ganze Flüssigkeit die Temperatur der erwärmten Wand angenommen hat. Wenn man dagegen die Flüssigkeit, Fig. 76, von der Oberfläche aus erwärmt, so tritt ein solcher Kreislauf nicht ein und die Wärme pflanzt sich dann nur durch die Flüssigkeit fort. Man kann die Bewegung der Flüssigkeitstheilchen, wenn man von unten aus erwärmt, sehr leicht dadurch nachweisen, dass man feines Sägemehl hineinstreut; dasselbe nimmt dann an der Bewegung des Wassers Theil und lässt die Richtung der Bewegung in jedem einzelnen Punkte leicht erkennen. Aehnliche Bewegungen entstehen in den Gasen, wenn man einen Theil der Wand, mit welchem sie in Berührung stehen, erwärmt. Wenn man in einem Ofen, dessen Rohr von

Fig. 75.

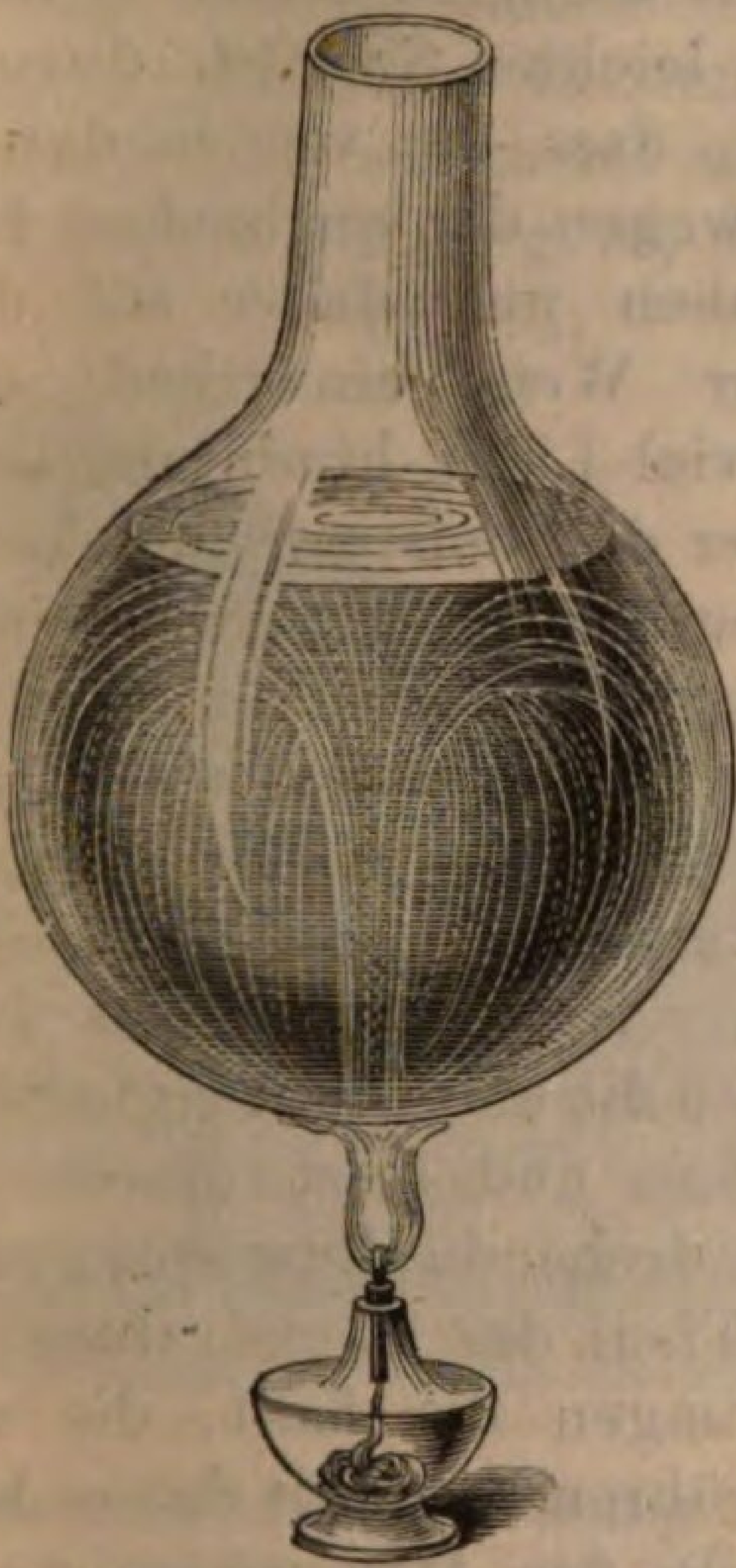
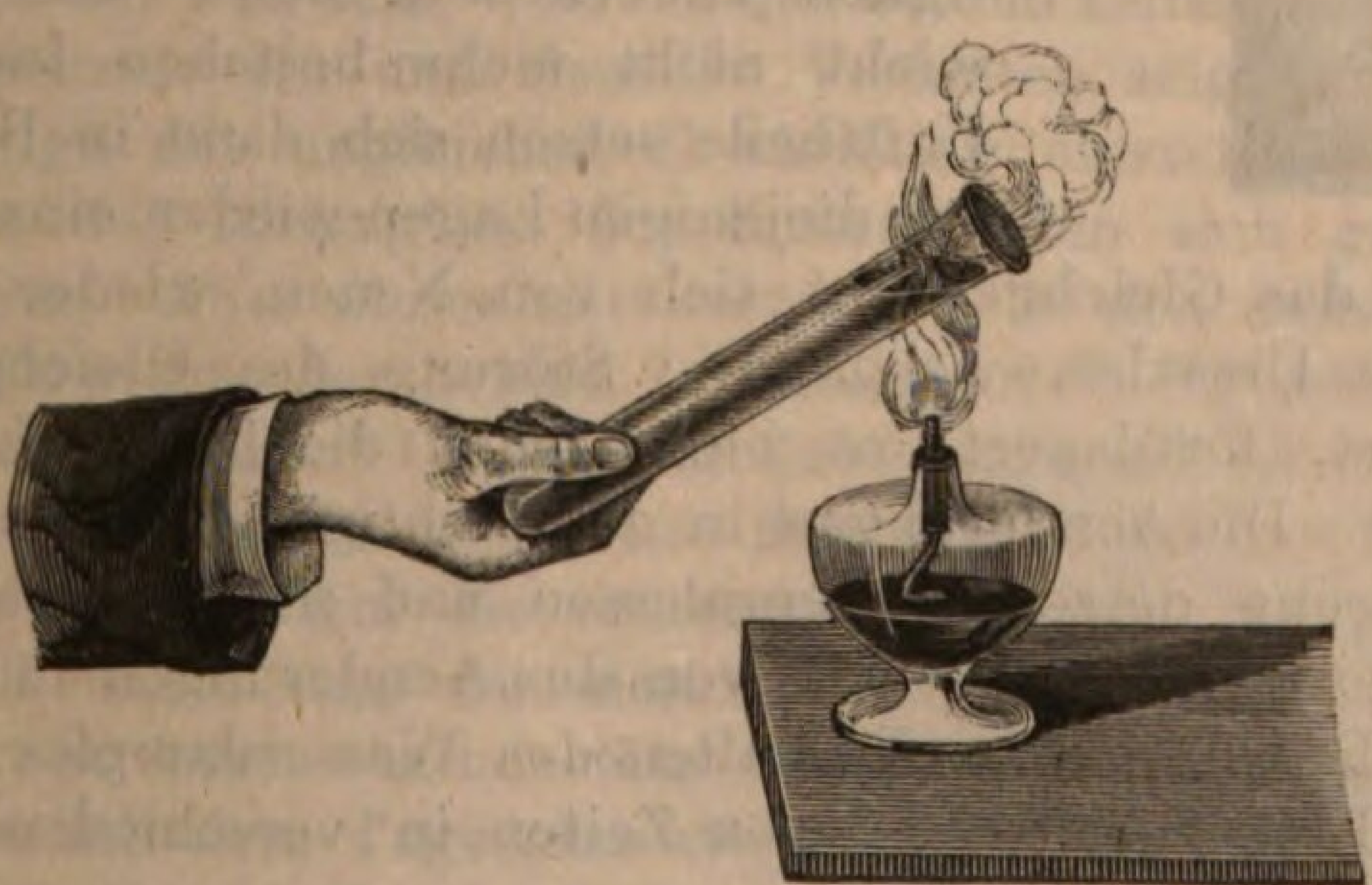


Fig. 76.



Luft umgeben ist, Feuer anlegt, so erhitzt sich das Rohr, und die sich ebenfalls erwärmende Luft der nächsten Umgebung steigt in die Höhe. Auf diese Weise entsteht ein aufsteigender Luft-

strom rings um die Rauchröhre, der so lange andauert, als die umgebende Luft kälter ist, wie das Rohr. Man kann auch hier die Bewegung der Luft recht deutlich wahrnehmen, wenn die Sonne auf das Rohr scheint und dieses auf die gegenüberliegende Wand einen Schatten wirft; man sieht dann zu beiden Seiten dieses Schattens eine Menge anderer leichter Schatten durcheinander irren, die davon herrühren, dass die verschiedenen das Rohr umgebenden Luftschichten wegen der ungleichen Erwärmung ungleiche Dichtigkeiten haben und daher auf das durchgehende Licht in verschiedener Weise einwirken; die dichtere Luft lässt nämlich nicht so viel Licht hindurchgehen, als die weniger dichte. Man kann aber den aufsteigenden Luftstrom noch in anderer Weise recht deutlich machen, wenn man um das Rohr an der tieferen und heisseren Stelle einen oben rechtwinklig umgebogenen Eisendraht festbindet und, wie Fig. 77 zeigt, auf die Spitze desselben einen in Form einer Schraube geschnittenen leichten Streifen Papier aufsetzt. Die aufsteigende Luft stösst dann gegen die untere geneigte Seite des Papierstreifens und setzt diesen dadurch in eine drehende Bewegung um den verticalen Theil des Eisendrahtes.

Fig. 77.



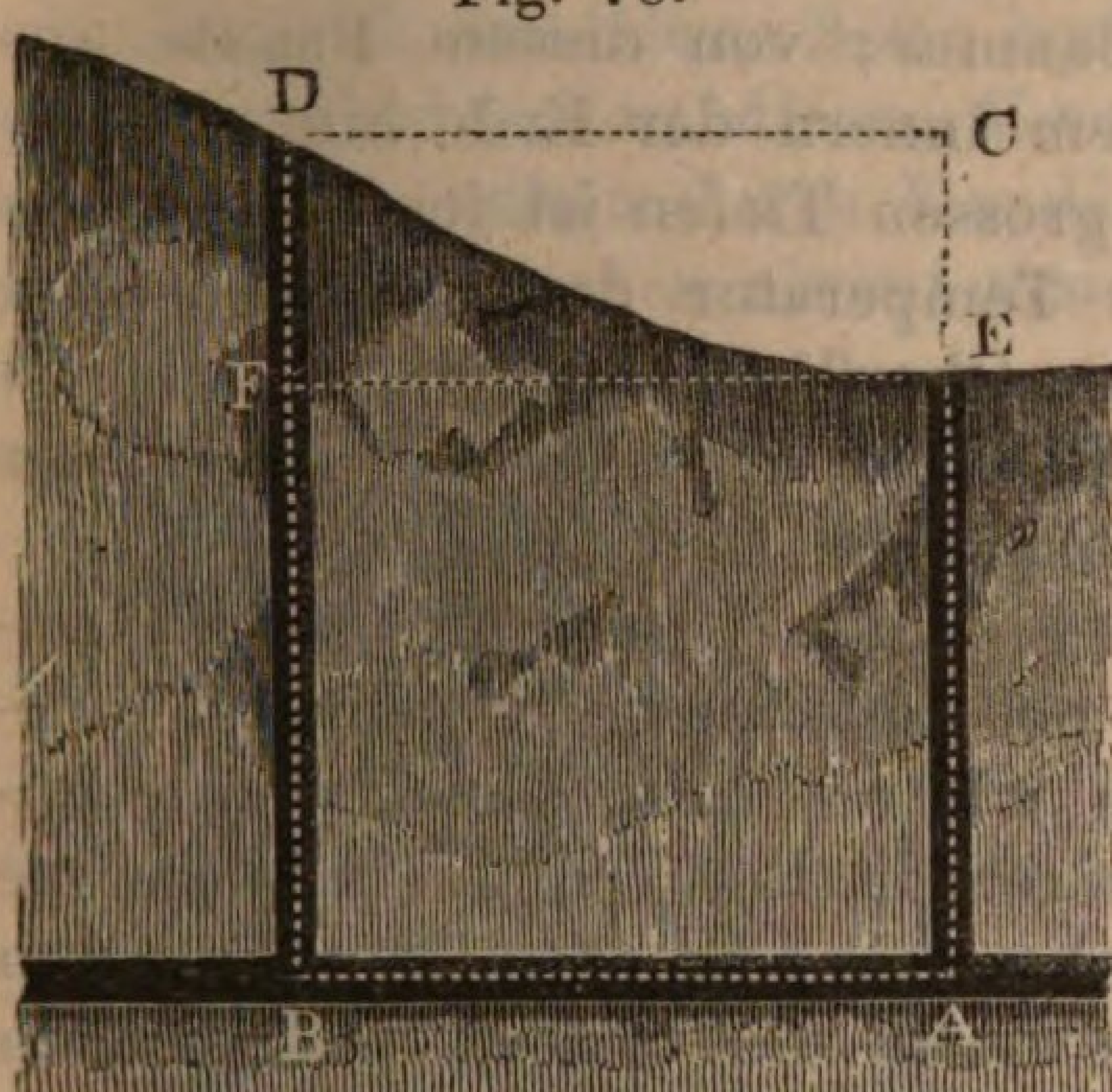
Die Bewegungen der Luft, die wir Wind nennen, rühren ebenfalls davon her, dass einige Theile der Atmosphäre unter Beibehaltung der Expansivkraft ihre Dichtigkeit ändern und daher das Gleichgewicht nicht mehr bestehen lassen; die Lufttheile setzen sich dann in Bewegung, um diejenigen Lagen wieder einzunehmen, in denen das Gleichgewicht sich von Neuem wieder herstellt. Wenn die Ursache, welche die Störung des Gleichgewichtes herbeiführt, fortdauert, so bleibt auch die Luft anhaltend in Bewegung. Die Aenderungen in der Dichtigkeit der Luft, welche die Bewegung derselben veranlassen und so die Ursachen der Winde werden, rühren theils von den Aenderungen in der Temperatur, theils von dem Verhalten des Wasserdampfes her, welcher der Luft zu verschiedenen Zeiten in verschiedener Menge beigemengt ist.

55 **Der Wetterzug in den Bergwerken.** In vielen Fällen steht die in einem Raume enthaltene Luft mit der atmosphä-

rischen Luft in Verbindung; die Zimmerluft z. B. communicirt theils durch die Ritzen der Thüren und Fenster, theils durch den Kamin mit der äusseren Atmosphäre. In der Regel entsteht dann durch eine Ungleichheit in der Temperatur und der Dichtigkeit der einzelnen Theile eine Bewegung der Luft, von der wir uns näher Rechenschaft geben wollen.

Nehmen wir zuerst an, dass ein unterirdischer Raum, z. B. ein Stollen AB, Fig. 78, durch zwei verticale Schachte AE, BD mit der atmosphärischen Luft in Verbindung stehe. Wenn die Luft in diesen Schachten und ausserhalb derselben im Freien im Gleichgewicht sein soll, so muss der Druck auf jeden Punkt einer und derselben wagerechten Ebene gleich gross sein; es muss also der Druck in A und B sowohl, als in C und D gleich gross sein. Der Unterschied der Druckkräfte in A und C aber ist gleich dem Gewichte der Luftsäule AC, und der Unterschied der Pressungen in B und D ist gleich dem Gewichte der Luftsäule BD; soll also Gleichgewicht bestehen, so müssen die Gewichte dieser beiden Luftsäulen einander gleich sein. Es wird dieses der Fall sein, wenn in den beiden Luftsäulen AC, BD die Temperatur ein und dasselbe Verhalten zeigt, oder wenn die in Folge der ungleichen Erwärmung entstehenden Aenderungen in der Dichtigkeit der Luftschichten sich gegenseitig compensiren. Aber dieses tritt selten ein, in den meisten Fällen sind die Gewichte der beiden Luftsäulen AC, BD nicht gleich, und da unter solchen Umständen das Gleichgewicht nicht mehr bestehen kann, so entsteht eine Bewegung der Luft, die continuirlich wird, wenn die störenden Ursachen stetig fortwirken. Soll dabei eine Circulation der Luft, ein Wetterzug entstehen, so müssen mindestens zwei Communicationsöffnungen der Grube mit dem Tage (der atmosphärischen Luft) vorhanden sein, deren eine die frische Luft einfallen lässt und sie gleichsam einsaugt, während durch die andere die verdorbene Luft oder die gefährlichen Gase (Wetter) ausziehen.

Fig. 78.



Nehmen wir an, dass die Mündungen D, E der beiden

Schachte, Fig. 78, nicht in demselben Niveau liegen, so ist dieses allein schon ausreichend, dass ein beständiger Wetterzug in der Grube entsteht, der im Sommer die entgegengesetzte Richtung annimmt als im Winter. Es ist nämlich bekannt, dass schon in einer geringen Tiefe das Thermometer Jahr aus Jahr ein denselben Stand behält und eine constante Temperatur anzeigt, auf welche die wechselnde Temperatur der Erdoberfläche gar keinen Einfluss mehr hat. Diese constante Temperatur ist gleich der mittleren Jahreswärme des Ortes und beträgt bei uns 7 bis 9 Grad Réaumur; von diesem Punkte aus nimmt die Temperatur nach dem Innern der Erde hin mit der Tiefe stetig zu. Bei nicht zu grossen Tiefen ist jene constante Temperatur niedriger als die Temperatur der Oberfläche im Sommer, und höher als die der Oberfläche im Winter. Es ist daher auch die Grubenluft im Sommer schwerer und im Winter leichter, als die äussere atmosphärische Luft.

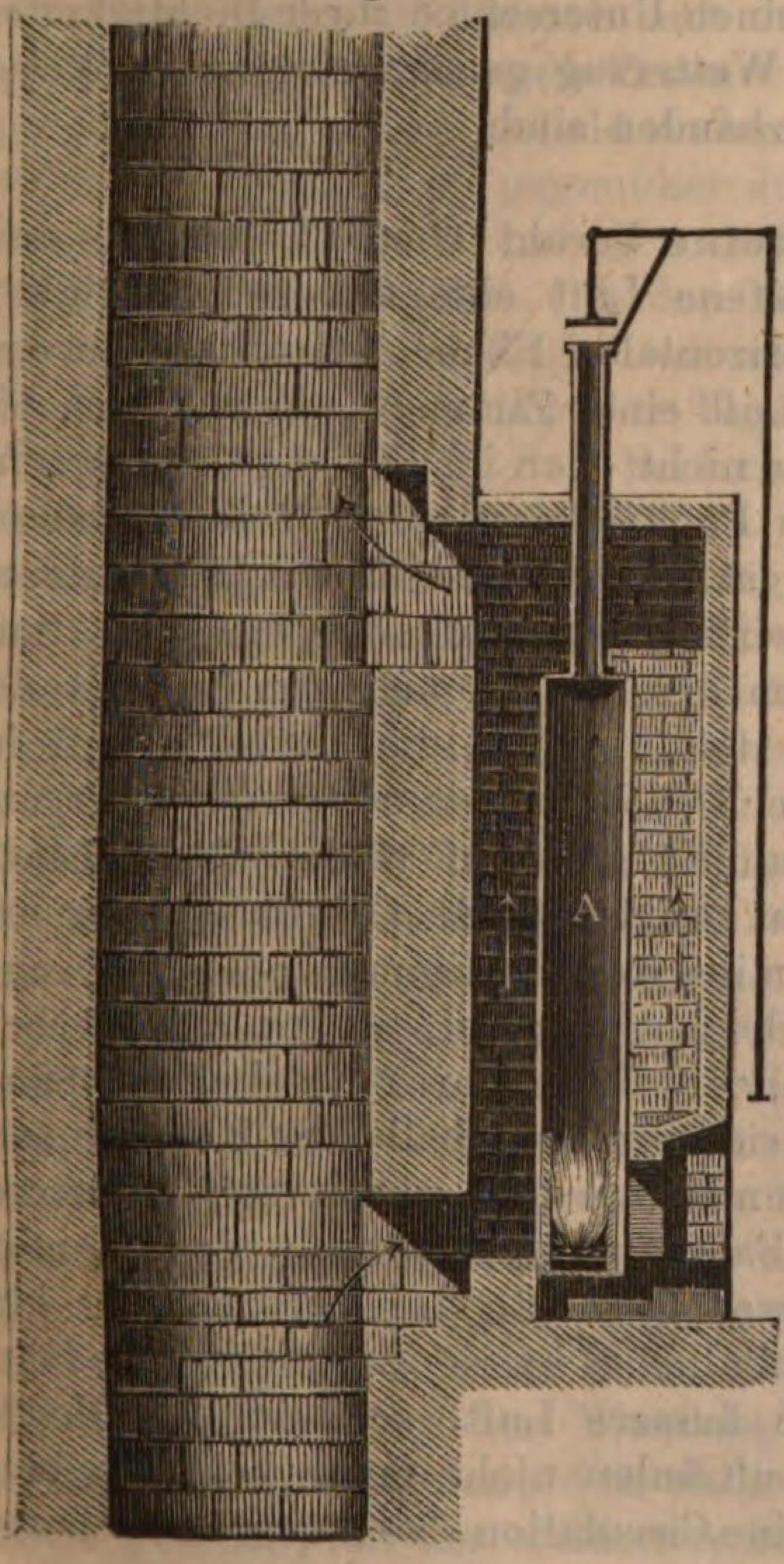
Die Theile AE, BF unserer beiden Luftsäulen, welche unterhalb der durch die tiefste Schachtöffnung E gelegten horizontalen Ebene liegen, können wir als nahe gleich warm annehmen, da sie mit den Gesteinen in Berührung sind, welche nahezu dieselbe Temperatur haben. Anders aber ist es mit den übrigen Theilen CE, DF, von denen der erstere der äusseren atmosphärischen Luft angehört, der letztere aber sich im Innern der Grube befindet.

Im Sommer ist nun die Luftsäule CE wärmer, als DF und also leichter als diese, daher ist auch die ganze Luftsäule CA leichter als DB; DB hat also das Uebergewicht über CA und sinkt herunter, während CA nach oben hin verdrängt wird. Es entsteht hierdurch ein Luftzug, der in dem rechts liegenden Schachte AC aufwärts, in dem links gelegenen Schachte BD aber abwärts gerichtet ist. Wenn die von aussen bei D einfallende wärmere Luft in den Schacht gelangt, erkaltet sie sehr bald, so dass die Circulation der Luft andauernd bleibt. Im Winter dagegen ist die Luftsäule CE kälter als DF und daher schwerer als diese; es ist also nun das Uebergewicht auf Seiten der Luftsäule CA, welche in Folge der grösseren Schwere herabsinkt und die leichtere Luft im Schachte BD verdrängt. Es entsteht daher auch jetzt wieder ein beständiger Wetterzug, aber in der entgegengesetzten Richtung, wie im Sommer. Dieses bei mässiger Tiefe der Gruben stets eintretende und sehr belästigende Umsetzen des Luftzuges fällt in die Zeit des Herbstes und des Frühlings, wo die äussere und die innere

Temperatur nahe dieselbe ist und alsdann die bewegende Ursache aufhört.

Wenn die natürlichen Mittel zu diesem für die Grubenarbeiter nothwendigen Luftwechsel nicht vorhanden sind, muss man zu künstlichen Mitteln übergehen. Dieselben verfolgen alle den gemeinsamen Zweck, der Luft an verschiedenen mit einander in Verbindung stehenden Stellen ungleiche Dichtigkeiten zu geben, dadurch das Gleichgewicht der ruhenden Luftmassen aufzuheben und zur Erzeugung der Bewegung ein Uebergewicht auf der einen Seite herbeizuführen. In den meisten Fällen erreicht man diesen Zweck durch Verdünnung der ausziehenden, selten durch Verdichten der einfallenden Luftsäule. Am häufigsten nimmt man bei der künstlichen Wetterlosung seine Zuflucht zu der Aufstellung eines kleinen Wetterofens, den man unterhalb eines der beiden durch die Grubenluft mit einander in Verbindung stehenden Schachte, des ausziehenden Schachtes, anlegt; durch das Einführen der Verbrennungsproducte in das Innere dieses Schachtes wird die darin enthaltene Luftsäule leichter als in dem anderen Schachte, so dass das Gleichgewicht dieser beiden Luftsäulen aufgehoben und dadurch ein andauernder Wetterzug erzeugt wird. In den Kohlenbergwerken ist es indessen oft sehr gefährlich, dergleichen Wetteröfen anzulegen, weil hier die zu dem Ofen gelangende Grubenluft nicht selten eine grosse Menge Kohlenwasserstoffgas (schlagende Wetter)

Fig. 79.



beigemengt enthält, deren Entzündung bekanntlich die heftigsten Explosionen zur Folge haben kann. In solchen Fällen setzt man auf die Mündung des ausziehenden Schachtes eine Art Kamin, Fig. 79 (a. vor. S.), dessen unteres Ende mit einem seitwärts angebrachten Ofen in Verbindung steht und welcher bloss durch seine Aussenseite mit der Grubenluft in Verbindung steht.

Wenn die zu ventilirende Grube nur durch einen einzigen Schacht mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht, so theilt man denselben durch einen luftdichten Verschlag (einen Scheider) in zwei verticale Abtheilungen, oder man lässt auch wohl ein weites Rohr in dem Schachte heruntergehen, um die Grubenluft auf zwei verschiedenen Wegen mit der Tagesluft in Verbindung zu setzen. Wenn man dann in diesen beiden Abtheilungen eine Temperaturverschiedenheit der beiden Luftsäulen und in Folge davon einen Unterschied ihrer Dichtigkeiten herbeiführt, so entsteht ein Wetterzug ganz in derselben Weise, wie wenn zwei Schachte vorhanden sind.

56 **Der Zug der Schornsteine** beruht ebenfalls darauf, dass die in ihrem Innern enthaltene Luft eine andere Dichtigkeit hat, als die in derselben horizontalen Ebene befindliche äussere atmosphärische Luft. Die Luft eines Zimmers, in welchem ein Kamin vorhanden ist, kann nicht eher im Gleichgewichte sein, als bis der Druck in jedem Punkte einer und derselben wagerechten Ebene gleich gross ist, sei es, dass dieser Druck durch die Kaminluft verursacht wird oder durch die äussere Atmosphäre, die durch die Ritzen der Thüren und Fenster mit der Zimmerluft in Verbindung steht. Wenn die äussere Luft im Gleichgewichte ist, so ist der Druck in jedem Punkte einer und derselben oberhalb des Kamins gelegten wagerechten Ebene gleich gross; damit nun der Druck in jedem Punkte einer und derselben unterhalb des Kamins in dem Zimmer gelegten wagerechten Ebene ebenfalls gleich gross sei, ist es erforderlich, dass das Gewicht der zwischen beiden Horizontalebenen befindlichen Luftsäulen, mögen sie nun innerhalb des Kamins oder ausserhalb desselben genommen werden, gleich sei. Letzteres kann aber nicht mehr der Fall sein, wenn man in dem Kamine Feuer anlegt oder die heissen Producte der Verbrennung hineinführt. Da die darin befindliche heisse Luft sich ausdehnt und leichter wird, als die äussere Luft, so kann das Gleichgewicht zwischen beiden Luftsäulen nicht mehr bestehen bleiben, es entsteht vielmehr eine Circulation der Luft, die so lange

andauert, als ein Unterschied in den Temperaturen und den Dichtigkeiten der Luftsäulen vorhanden ist. Die Luft im Innern des Kamins wird durch die schwerere Luft verdrängt und steigt in die Höhe; die kältere äussere Luft dagegen dringt durch die Thür- und Fensterspalten in das Zimmer nach. Wenn das Zimmer hermetisch verschlossen und jede Communication mit der äusseren Luft abgeschnitten wäre, so müsste der Kamin nothwendig rauchen, weil in diesem Falle sich ein Luftstrom, der den Rauch mit sich führte, gar nicht bilden könnte, der Rauch also in dem Kamine stehen bleiben und sich bis zu seinem untersten Theile im Zimmer erstrecken müsste.

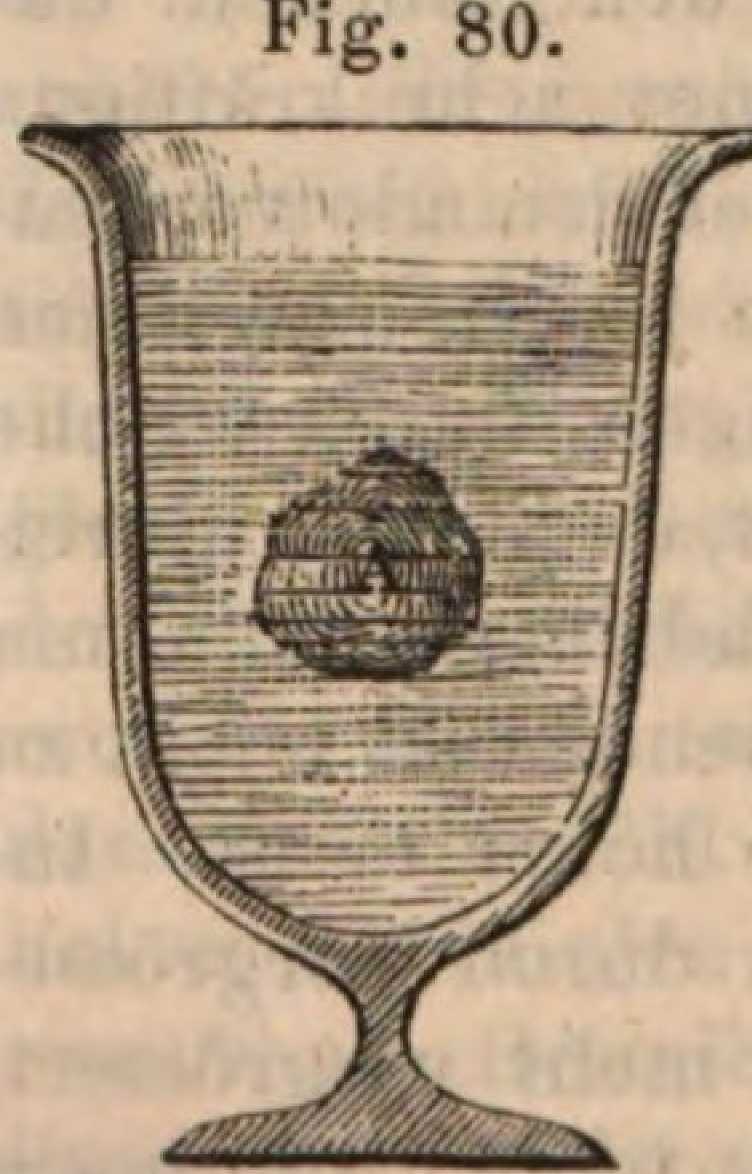
Es zeigt sich zuweilen, dass, wenn man in zwei mit einander in Verbindung stehenden Zimmern, von denen jedes einen Kamin hat, Feuer anmacht, der eine Kamin raucht. Es rührt dieses daher, dass, wenn die äussere Luft durch die Thür- und Fensterspalten nur mit Mühe in die Zimmer eindringen kann, die in denselben enthaltene Luft, sobald sie leicht von einem Zimmer in das andere gelangen kann, gegenüber den beiden Kaminen sich unter denselben Umständen befindet, wie die Grubenluft in Bezug auf die beiden Schachte. In der That spielen dann die beiden Schornsteine dieselbe Rolle, wie diese Wetterschachte, welche die innere Grubenluft mit der Tagesluft in Verbindung setzen. Wenn nämlich die in den beiden Kaminen enthaltenen Luftsäulen nur ein wenig im Gewichte verschieden sind, so entsteht in dem einen derselben ein aufsteigender, in dem anderen aber ein absteigender Luftstrom, welcher letztere den Rauch in das Zimmer bringt. Nur durch Unterhaltung eines sehr kräftigen Feuers in beiden Kaminen kann man diesem Uebelstande vorbeugen, weil dadurch ein so beträchtlicher Zug in jedem von ihnen entsteht, dass selbst durch die wenigen Oeffnungen, durch welche das Zimmer mit der äusseren Luft communicirt, doch eine hinreichende Menge frischer und schwerer Luft nachdringen kann, um beide Kamine zu versorgen. Aus dem Vorstehenden ist leicht zu ersehen, dass ein Kamin um so besser zieht, je höher er ist. Indessen wird über eine gewisse Gränze hinaus durch Vergrösserung der Höhe eines Kamins der Zug nicht mehr vergrössert. Denn wenn auch die aufsteigende Kraft der Luftsäule im Innern des Kamins mit der Höhe desselben zunimmt, so wächst doch andererseits auch mit der grösseren Höhe die Reibung, welche die bewegte Luft an den Wandungen des Kamins erleidet, und es kann dahin kommen, dass man das, was man auf der einen Seite gewinnt, auf der anderen wieder verliert.

Wenn man ein Zimmer einige Zeit hindurch nicht geheizt hat und die Temperatur der atmosphärischen Luft, nachdem sie mehrere Tage hindurch kalt gewesen ist, sich erhöht, so entsteht in dem Kamine ein absteigender Luftstrom, der sich dadurch wahrnehmbar macht, dass sich ein Geruch nach Russ in dem Zimmer verbreitet. Es rührt dieses daher, dass die Luftsäule im Innern des Kamins kälter und dichter ist als die äussere umgebende Luft von derselben Höhe; die schwerere Luft sinkt daher herab und erzeugt einen Luftstrom, der demjenigen entgegengesetzt ist, welcher entsteht, wenn man das Zimmer heizt. In einem solchen Falle dringt die Zimmerluft durch die Thür- und Fensterspalten nach aussen, während die durch den Kamin einfallende Luft ihre Stelle ersetzt.

3. Gewichtsverlust der Körper in Flüssigkeiten und in der Luft.

57 **Das Archimedische Princip.** Eine im Gleichgewicht befindliche Flüssigkeit übt in Folge ihres Gewichtes und der allseitigen Fortpflanzung des Druckes auf alle darin eingetauchten Körper einen Druck aus. Taucht man daher einen festen Körper *A*, Fig. 80, in eine Flüssigkeit ein, so erleidet derselbe in einem jeden Punkte seiner Oberfläche einen Druck von Seiten der Flüssigkeit; alle diese einzelnen Druckkräfte haben eine gemeinschaftliche Resultirende, von deren Vorhandensein und Grösse wir uns auf folgende Weise leicht überzeugen können.

Fig. 80.



Wir nehmen zuerst an, dass die Flüssigkeit in dem Gefässe allein vorhanden, also noch kein anderer Körper darin eingetaucht sei, und denken uns in derselben einen bestimmt begränzten Theil *A*. Wenn die Flüssigkeit, wie wir angenommen haben, im Gleichgewichte ist, so bleibt dieser abgesonderte Theil in der Flüssigkeit schweben; er sinkt nicht herab, obgleich er schwer ist, sondern wird durch die umgebende Flüssigkeit vollständig getragen. Denken wir uns nun, dass derselbe Theil *A*

nicht mehr flüssig, sondern fest sei, jedoch noch dieselbe Dichtigkeit habe, wie früher, so hat dieses offenbar auf das Gleichgewicht gar keinen Einfluss. Wir haben dann einen festen Körper A genau von derselben Begränzung, wie sie vordem die Flüssigkeit hatte; derselbe wird daher von der Flüssigkeit oder vielmehr von dem Drucke, den sie auf alle Punkte seiner Oberfläche ausübt, getragen. Da diese einzelnen Druckkräfte das Gewicht des in Rede stehenden festen Körpers A im Gleichgewicht halten, so müssen sie eine Resultirende haben, die diesem Gewichte gleich und entgegengesetzt ist, das heisst, die Resultirende aus diesen einzelnen Druckkräften ist vertical, wirkt von unten nach oben und hat ihren Angriffspunkt im Schwerpunkte des Körpers. Denken wir uns nun weiter, dass dieser Körper weggenommen und durch einen anderen Körper A von derselben Begränzung ersetzt werde, so dass in der umgebenden Flüssigkeit gar keine Veränderung entsteht, so ist klar, dass die von der Flüssigkeit auf die einzelnen Punkte dieses neuen Körpers ausgeübten Pressungen genau dieselben bleiben, wie sie vordem auf den ersteren Körper wirkten, an dessen Stelle er gekommen ist.

Hieraus folgt also, *dass die einzelnen von einer Flüssigkeit auf die Oberfläche eines darin eingetauchten Körpers A ausgeübten Druckkräfte eine verticale Resultirende in der Richtung von unten nach oben haben, deren Grösse gleich ist dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit, und deren Angriffspunkt in dem Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit liegt.* Der eben ausgesprochene von *Archimedes* im Jahre 212 vor Christi Geburt entdeckte Satz, den man daher mit dem Namen des *Archimedischen Princips* bezeichnet, bildet den Fundamentalsatz in der Lehre vom Gleichgewichte schwimmender und untergetauchter Körper.

Die aus den einzelnen auf einen untergetauchten Körper ausgeübten Druckkräften hervorgehende Resultirende strebt den Körper in die Höhe zu heben, wogegen sein Gewicht ihn herab zu bewegen sucht; unter der gleichzeitigen Einwirkung dieser beiden Kräfte wird daher der Körper in der Flüssigkeit entweder in die Höhe steigen oder zu Boden fallen, je nachdem die eine oder die andere derselben überwiegend ist. Wenn das Gewicht des Körpers grösser ist, als die Resultirende aus den Flüssigkeitspressungen, so sinkt er zu Boden, aber nicht mit der vollen Kraft seines Gewichtes, sondern bloss mit dem Ueber-

schusse seines Gewichtes über diese Resultirende. In allen Fällen also, wo ein Körper in einer Flüssigkeit eingetaucht ist, wird ein Theil seines Gewichtes von der Flüssigkeit aufgehoben oder getragen, welcher dem Gewichte der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit gleich ist.

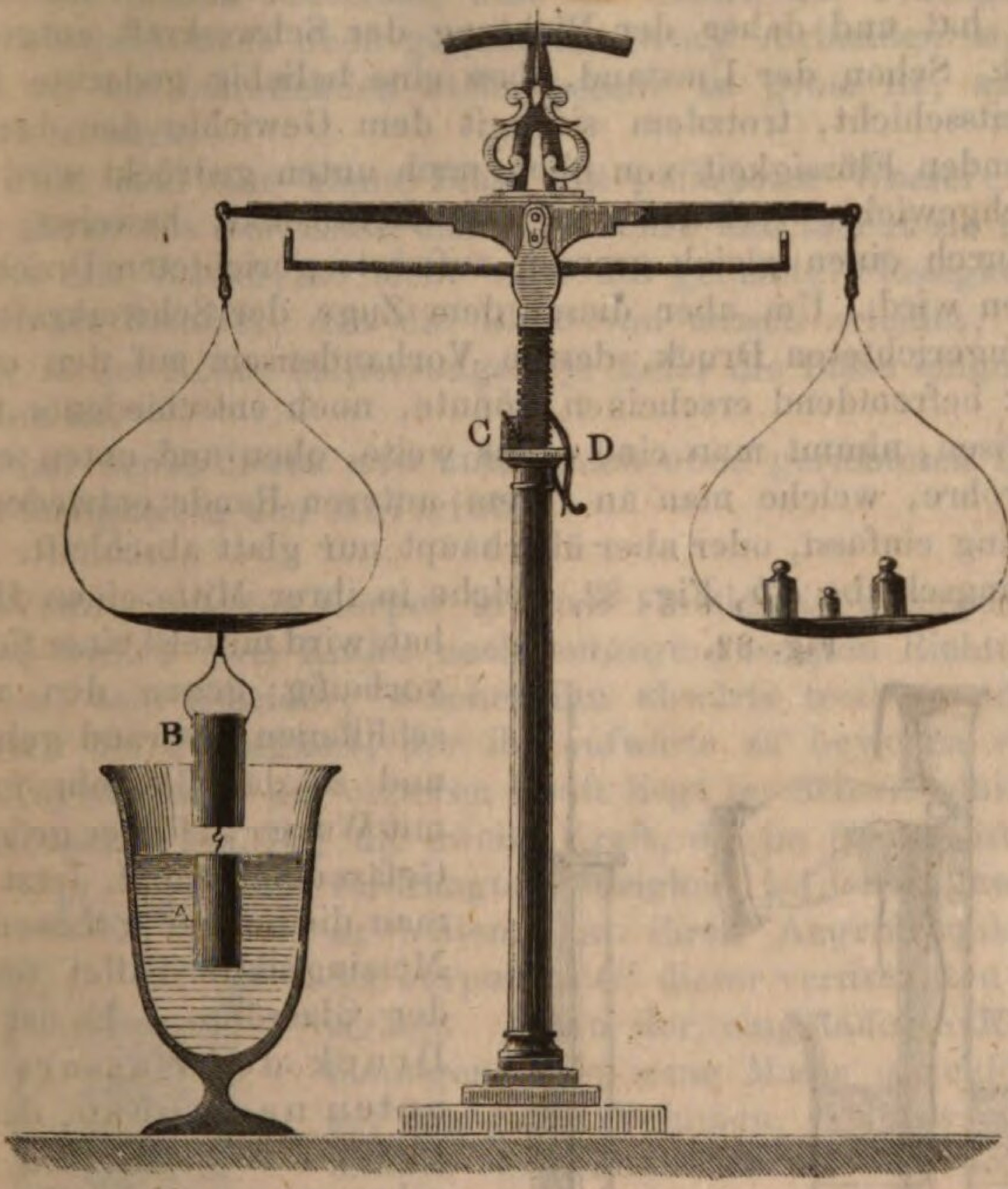
Man spricht daher das Archimedische Princip gewöhnlich so aus: Ein Körper, welcher in einer Flüssigkeit untergetaucht ist, verliert darin so viel an seinem Gewichte, als die verdrängte Flüssigkeit wiegt.

58 **Die hydrostatische Wage.** Die Richtigkeit des Archimedischen Princips wird nachgewiesen mit Hülfe der hydrostatischen Wage. Dieselbe ist eine gewöhnliche Wage von ziemlich grosser Empfindlichkeit, mit der Einrichtung, dass man sie leicht höher und tiefer stellen und unter die eine Wagschale einen Gegenstand aufhängen kann. Zu diesem Zwecke ist die den Wagebalken tragende Stange mit Zähnen versehen und lässt sich mittelst des seitwärts angebrachten Getriebes *C*, Fig. 81, in dem hohlen Ständer der Wage langsam in die Höhe schieben. Auf der dem Getriebe entgegengesetzten Seite ist ein Sperrhaken *D* mit einer Druckfeder angebracht, welcher bei der aufsteigenden Bewegung der Zahnstange nachgiebt und so derselben kein Hinderniss entgegenstellt, dagegen nicht zulässt, dass die Zahnstange, wenn sie mit dem Wagebalken gehoben worden ist, von selbst wieder herunterfalle. Will man dieselbe tiefer stellen, so drückt man auf das der Spitze des Sperrhakens entgegengesetzte Ende, wodurch jene aus den Zähnen der Zahnstange heraustritt und nun es gestattet, den Wagebalken herabzudrücken.

Um nun mittelst dieser Wage das Archimedische Princip nachzuweisen, nimmt man zwei messingene Cylinder *A* und *B*, von denen der erstere massiv, der letztere aber hohl ist, und die so abgeglichen sind, dass der massive Cylinder *A* genau in den hohlen passt, dass also beide Cylinder genau dasselbe Volumen haben. Man hängt sie, wie die Figur zeigt, unter einander so an die Wagschale auf, dass der massive Cylinder *A* am tiefsten sich befindet, und bringt durch Gegengewichte, die auf die andere Wagschale gelegt werden, das Ganze ins Gleichgewicht. Nachdem dieses geschehen ist, hebt man den Wagebalken mit den Schalen in die Höhe, stellt unter den Cylinder *A* ein Glas mit Wasser und lässt dann den Wagebalken so tief herab, bis der massive Cylinder *A* ganz unter Was-

ser getaucht ist. Sobald nur ein Theil des letzteren sich im Wasser befindet, ist das Gleichgewicht gestört, und zwar geht

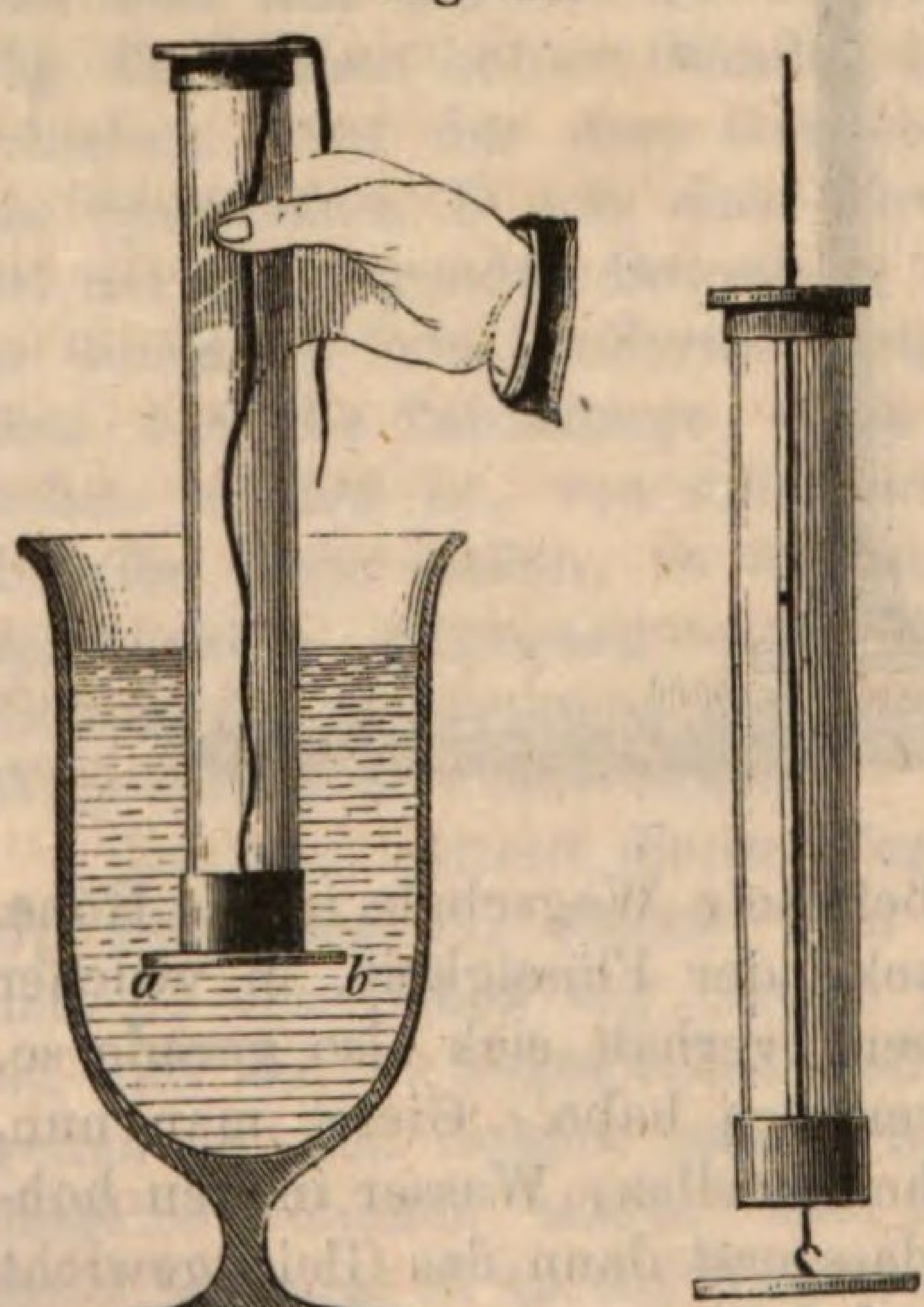
Fig. 81.



die mit den beiden Cylindern belastete Wagschale in die Höhe. Der Cylinder *A*, von dem Drucke der Flüssigkeit, in welcher er ganz eingetaucht ist, gehoben, verhält sich also gerade so, als ob er etwas an Gewicht verloren habe. Giesst man nun, um das Gleichgewicht wieder herzustellen, Wasser in den hohlen Cylinder *B*, so zeigt sich, dass erst dann das Gleichgewicht gänzlich wieder eintritt, wenn das Innere desselben ganz mit Wasser angefüllt ist. Hieraus folgt also, dass der unter Wasser befindliche Körper *A* an Gewicht verliert, und zwar genau so viel, als das aus der Stelle verdrängte Wasser, welches offenbar mit ihm gleiches Volumen hat, wiegt.

59 **Der Auftrieb der Flüssigkeiten.** In dem Vorigen ist nachgewiesen worden, dass die Resultirende aus allen auf die Oberfläche eines in einer Flüssigkeit untergetauchten Körpers ausgeübten Pressungen eine verticale Richtung von unten nach oben hat und daher der Richtung der Schwerkraft entgegenwirkt. Schon der Umstand, dass eine beliebig gedachte Flüssigkeitsschicht, trotzdem sie mit dem Gewichte der darüber stehenden Flüssigkeit von oben nach unten gedrückt wird, im Gleichgewichte verharrt und nicht herabsinkt, beweiset, dass sie durch einen gleich grossen aufwärts gerichteten Druck getragen wird. Um aber diesen dem Zuge der Schwerkraft entgegengerichteten Druck, dessen Vorhandensein auf den ersten Blick befremdend erscheinen könnte, noch entschiedener nachzuweisen, nimmt man eine etwas weite, oben und unten offene Glasröhre, welche man an ihrem unteren Rande entweder mit Messing einfasst, oder aber überhaupt nur glatt abschleift. Eine Messingscheibe *a b*, Fig. 82, welche in ihrer Mitte einen Haken hat, wird mittelst einer Schnur vorläufig gegen den abgeschliffenen Glasrand gehalten und so das Glasrohr in ein mit Wasser gefülltes grösseres Gefäss eingetaucht. Jetzt kann man die Schnur loslassen, die Messingplatte haftet fest an der Glasröhre. Es ist der Druck des Wassers von unten nach oben, der die Platte fest gegen die Glasröhre anpresst, weil wegen des mangelnden Wassers in der Röhre der Gegendruck von oben nach unten fehlt. Giesst man nun Wasser in das innere Glasrohr, so wird die Messingplatte *a b* nicht eher abfallen, bis das Wasser im Innern des Glasrohrs ungefähr dieselbe Höhe hat, als das Wasser des äusseren Gefässes. Wegen des Gewichtes der Messingplatte fällt sie etwas früher ab, bevor noch die Wasserspiegel einerlei Höhe erreicht haben, man macht daher auch

Fig. 82.



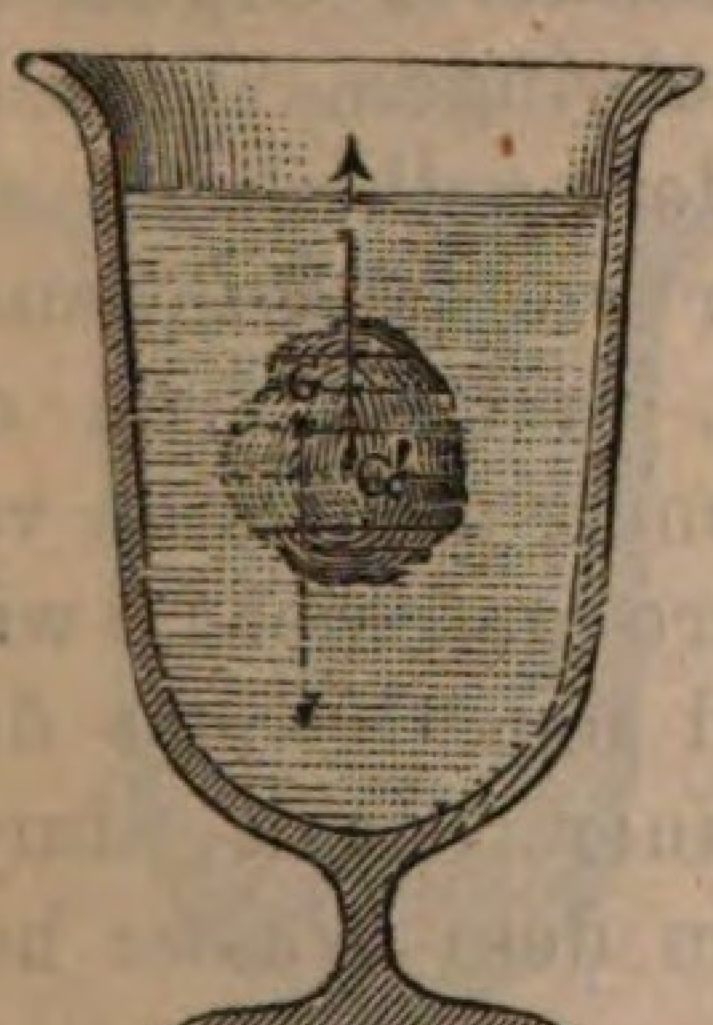
die Platte so dünn als möglich. Da im Augenblicke, wo die Messingplatte abfällt, der Druck gegen dieselbe, wenn man ihr Gewicht vernachlässigt, auf beiden Seiten gleich gross ist, so folgt aus diesem Versuche, dass im Innern der Flüssigkeiten ein von unten nach oben gerichteter Druck vorhanden ist, welcher an der betreffenden Stelle gerade so gross ist, als der Druck abwärts.

Füllt man eine kleine Blase mit gefärbtem Wasser, befestigt daran das eine Ende einer Glasröhre und taucht sie in ein Gefäss mit Wasser, so sieht man die gefärbte Flüssigkeit in Folge des Druckes, den die Blase von aussen erleidet, desto höher in der Röhre emporsteigen, je tiefer die Blase eingesenkt worden ist.

Man nennt diesen von unten nach oben gerichteten Druck der Flüssigkeiten den Auftrieb.

Wenn ein fester Körper in einer Flüssigkeit untergetaucht 60
ist, so wirken zwei Kräfte nach entgegengesetzten Richtungen auf ihn, sein Gewicht, welches ihn abwärts treibt, und der Auftrieb der Flüssigkeit, der ihn aufwärts zu bewegen strebt. Der Angriffspunkt der ersteren Kraft liegt im Schwerpunkte G des Körpers, Fig. 83; die zweite Kraft, die im Stande ist, die verdrängte Flüssigkeit im Gleichgewichte zu halten, hat ihren Angriffspunkt im Schwerpunkte G' dieser verdrängten Flüssigkeit. Wenn der eingetauchte Körper homogen, also seine Masse gleichförmig auf das ganze Volumen, welches er einnimmt, vertheilt ist, so fällt der Schwerpunkt G mit dem Schwerpunkte G' zusammen, sonst aber ist dieses nicht der Fall.

Fig. 83.



Damit nun ein fester in einer Flüssigkeit untergetauchter Körper darin im Gleichgewicht gehalten werde, ist erforderlich,

1. dass sein Gewicht gleich dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit sei, und
2. dass die Schwerpunkte des Körpers und der verdrängten Flüssigkeit zusammenfallen oder doch in einer einzigen verticalen Linie liegen.

Wenn diese beiden Bedingungen zutreffen, so wirken auf den Körper zwei gleiche Kräfte nach gerade entgegengesetzten

Richtungen; dieselben heben sich daher auf und der Körper verharrt in Ruhe; im anderen Falle können die beiden Kräfte sich nicht aufheben und sie erzeugen dann nothwendig eine Bewegung des Körpers. Wenn die beiden genannten Schwerpunkte genau zusammenfallen, so ist der Körper im indifferenten Gleichgewichte; er bleibt dann in allen Lagen, die man ihm innerhalb der Flüssigkeit geben mag, in Ruhe. Wenn dagegen der Schwerpunkt des in der Flüssigkeit schwebenden Körpers nicht mit dem Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit zusammenfällt, so ist das Gleichgewicht ein stabiles oder ein labiles, je nachdem der erstere dieser beiden Punkte unterhalb oder oberhalb des zweiten liegt.

Wenn ein Fisch im Wasser vollkommen still steht, so werden die beiden oben genannten Bedingungen von ihm erfüllt. Vergrössert er nun auf irgend eine Weise sein Volumen, ohne zugleich sein Gewicht zu vergrössern, so ist das Gleichgewicht gestört; da jetzt das verdrängte Wasser schwerer ist als der Fisch, so überwiegt der Auftrieb des Wassers das Gewicht des Fisches und dieser steigt in die Höhe. Wenn er dagegen sein Volumen verkleinert, ohne sein Gewicht zu verändern, so tritt das Entgegengesetzte ein; da der Auftrieb des Wassers jetzt kleiner ist als das Gewicht des Fisches, so sinkt er zu Boden. Die meisten Fische vermögen diese Vergrösserung und Verminderung ihres Volumens durch ein besonderes Organ, die Schwimmblase, nach Willkür hervorzubringen. Dieselbe besteht aus einer geschlossenen, einfach oder getheilten, mit Luft gefüllten Blase, auf welche das Thier von aussen einen grösseren oder kleineren Druck auszuüben, und dadurch das eingeschlossene Gas mehr oder weniger zusammenzupressen vermag. Je nachdem das Eine oder das Andere geschieht, wird sein Volumen kleiner oder grösser, während sein Gewicht dasselbe bleibt; der Fisch hat es daher in seiner Gewalt, durch den blossen Druck auf die Schwimmblase in dem Wasser herauf- oder herunterzusteigen.

Wirft man eine Weintraube in ein mit moussirendem Wein gefülltes Glas, so fällt sie darin sofort zu Boden. Aber die aus dem Weine sich entwickelnde Kohlensäure umgiebt bald die Traube und bleibt in kleinen Blasen daran haften. Die Gasblasen bilden dann mit der Traube einen einzigen Körper, dessen Volumen weit grösser ist, als es bei der Traube allein war, während das Gewicht dieses einen Körpers von dem der Traube nicht sehr verschieden ist. Der Auftrieb der Flüssig-

keit, der anfangs kleiner war als das Gewicht der Traube, ist nun grösser als letzteres und treibt die Traube wieder in die Höhe. Giebt man ihr dann, oben angekommen, einen leichten Stoss, um die an ihrer Oberfläche adhärirenden Gasblasen zu entfernen, so sinkt sie wieder auf den Boden des Glases herab, um gleich darauf wieder in die Höhe zu steigen.

Das Schwimmen der Körper. Wenn ein in einer Flüs- 61
sigkeit untergetauchter Körper sich selbst überlassen wird, und sein Gewicht ist kleiner als das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit, so wird er durch den überwiegenden Auftrieb der Flüssigkeit in die Höhe getrieben; es ist dieses z. B. der Fall, wenn man ein Stück Kork oder leichtes Holz in Wasser, oder wenn man ein Stück Eisen in Quecksilber wirft. Der Körper bleibt dann nicht mehr ganz in der Flüssigkeit eingetaucht, sondern ragt mit einem Theile aus derselben hervor, und nimmt eine Stellung an, in welcher er sich im Gleichgewicht befindet.

Die früheren Untersuchungen (§. 57) geben uns leicht ein Mittel an die Hand, um für einen solchen Fall die Bedingungen des Gleichgewichts aufzufinden. Da der Körper nicht mehr ganz in der Flüssigkeit eingetaucht ist, so erleidet er darin auch nicht mehr einen so grossen Auftrieb, als wenn er ganz untergetaucht wäre. Denkt man sich, Fig. 84, den theilweise eingetauchten Körper weg und statt dessen den Raum, den er innerhalb der Flüssigkeit eingenommen hat, mit dieser Flüssigkeit ausgefüllt, so würde letztere offenbar durch den Druck der umgebenden Flüssigkeit im Gleichgewicht gehalten werden. Da nun dieser Druck genau derselbe ist, ob die gedachte Stelle mit Flüssigkeit oder mit der Materie des festen Körpers ausgefüllt ist, so ist auch der Auftrieb, den ein theilweise eingetauchter Körper in einer Flüssigkeit erleidet, gleich dem Gewichte der von diesem Theile verdrängten Flüssigkeit; der Angriffspunkt dieser auftreibenden Kraft liegt wieder in dem Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit.

Fig. 84.



Wenn der Auftrieb einer Flüssigkeit gegen einen ganz untergetauchten Körper grösser ist, als das Gewicht desselben,

so steigt er zunächst bis zur Oberfläche in die Höhe. Wenn er nun noch weiter aufwärts steigt, so wird der eingetauchte Theil und daher auch der Auftrieb immer kleiner, bis der Punkt kommt, wo der Auftrieb genau gleich dem Gewichte des Körpers ist. Vermöge der erlangten Geschwindigkeit geht aber der Körper über diesen Punkt hinaus, wodurch der Auftrieb noch kleiner wird und das Gewicht des Körpers das Uebergewicht erhält. Er sinkt dann wieder herunter, steigt wieder hinauf und schwankt so lange auf und ab, bis er in einer gewissen Lage ins Gleichgewicht kommt, wo man von ihm sagt, dass er schwimmt.

Zur Herstellung dieses Gleichgewichtes ist erforderlich:

1) dass das ganze Gewicht des Körpers gleich dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit ist, und
2) dass der Schwerpunkt (*G*, Fig. 84) des Körpers und der Schwerpunkt (*G'*) der verdrängten Flüssigkeit in einer und derselben verticalen Linie liegen.

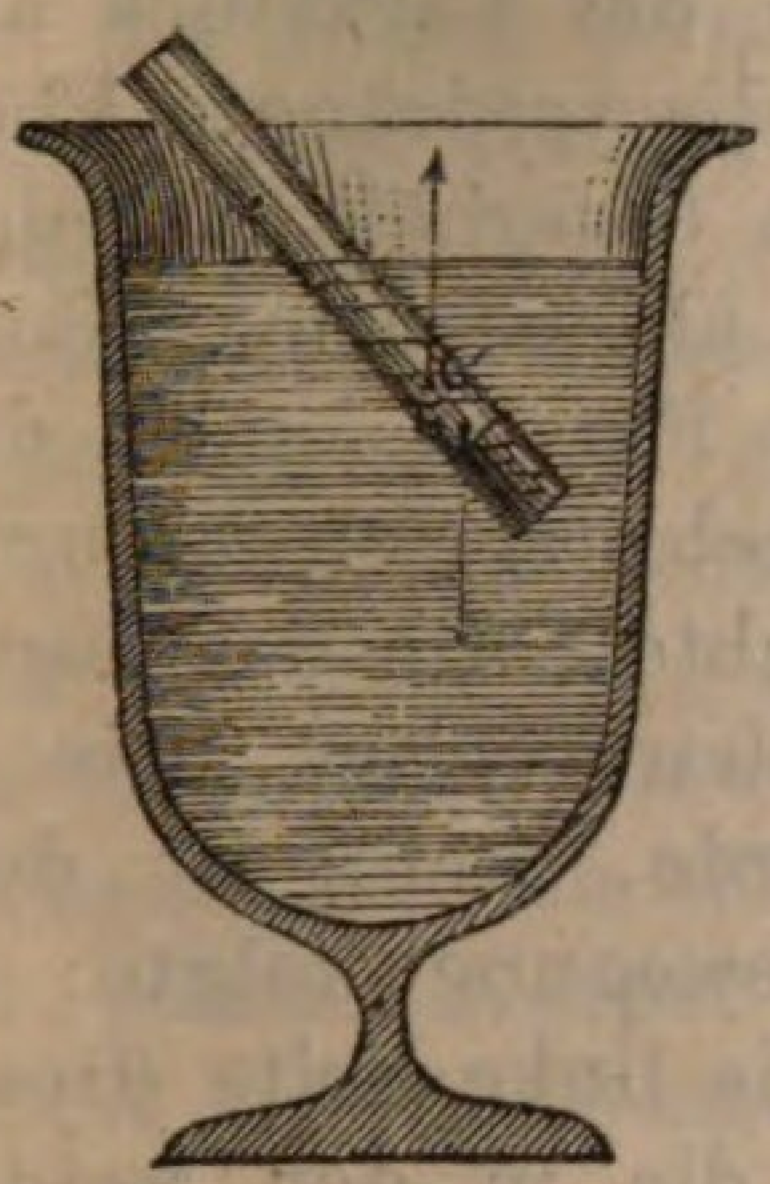
Damit also überhaupt ein Körper auf einer Flüssigkeit schwimmen könne, muss sein Gewicht kleiner sein als das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser; ausserdem folgt hieraus, dass bei gleichem Volumen die schwimmenden Körper um so weniger Flüssigkeit verdrängen, und demgemäss um so weiter aus der Flüssigkeit hervorragen, je kleiner ihr Gewicht ist.

62 Wenn die beiden vorstehenden Bedingungen erfüllt werden, so ist ein schwimmender Körper im Gleichgewicht, das Gleichgewicht ist aber je nach den Umständen ein stabiles oder ein nicht stabiles. Wenn der Körper ganz in der Flüssigkeit untergetaucht ist, so ist das Gleichgewicht stabil oder labil, je nachdem der Schwerpunkt des Körpers über oder unter dem Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit liegt (§. 60); bei dem Schwimmen eines Körpers gilt dieses nicht mehr und es kann das stabile Gleichgewicht auch dann eintreten, wenn der Schwerpunkt des Körpers über dem der verdrängten Flüssigkeit liegt.

Um dieses einzusehen, nehmen wir zuerst einen Cylinder von kleinem Durchmesser, der aus zwei mit ihren Grundflächen verbundenen Theilen von sehr ungleichen Dichtigkeiten be-

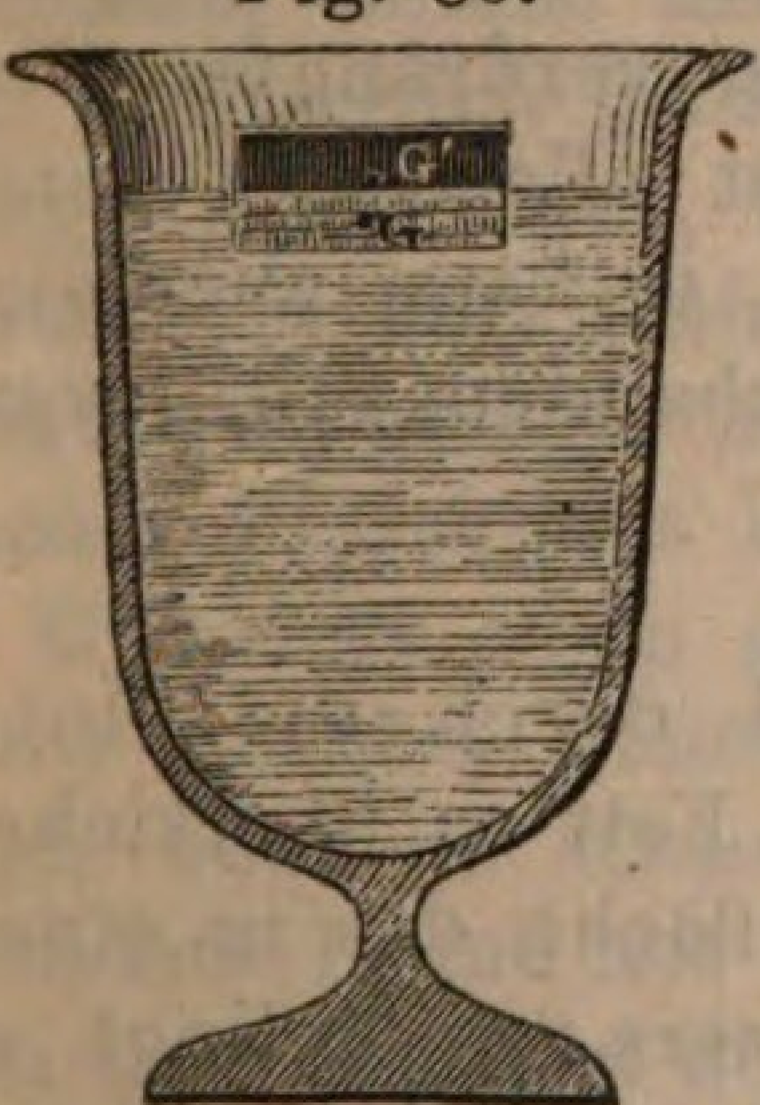
steht, Fig. 85, und nehmen an, dass er in verticaler Stellung derart in einer Flüssigkeit schwimme, dass sein Schwerpunkt unter dem Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit liege. Wenn man diesen Körper, wie in der Figur, nach der einen oder anderen Seite hinneigt, so richtet er sich unter dem Einflusse der beiden Kräfte, von denen die eine, sein Gewicht, in seinem eigenen Schwerpunkte *G* von oben nach unten, die andere, der Auftrieb, in dem Schwerpunkte *G'* der verdrängten Flüssigkeit von unten nach oben wirkt, sogleich wieder auf. Der Körper kehrt daher in seine erste Lage wieder zurück und das Gleichgewicht ist stabil. Ganz dasselbe findet statt, welche Gestalt auch der Körper haben mag, wenn nur der Schwerpunkt *G* unter dem Schwerpunkte *G'* liegt.

Fig. 85.



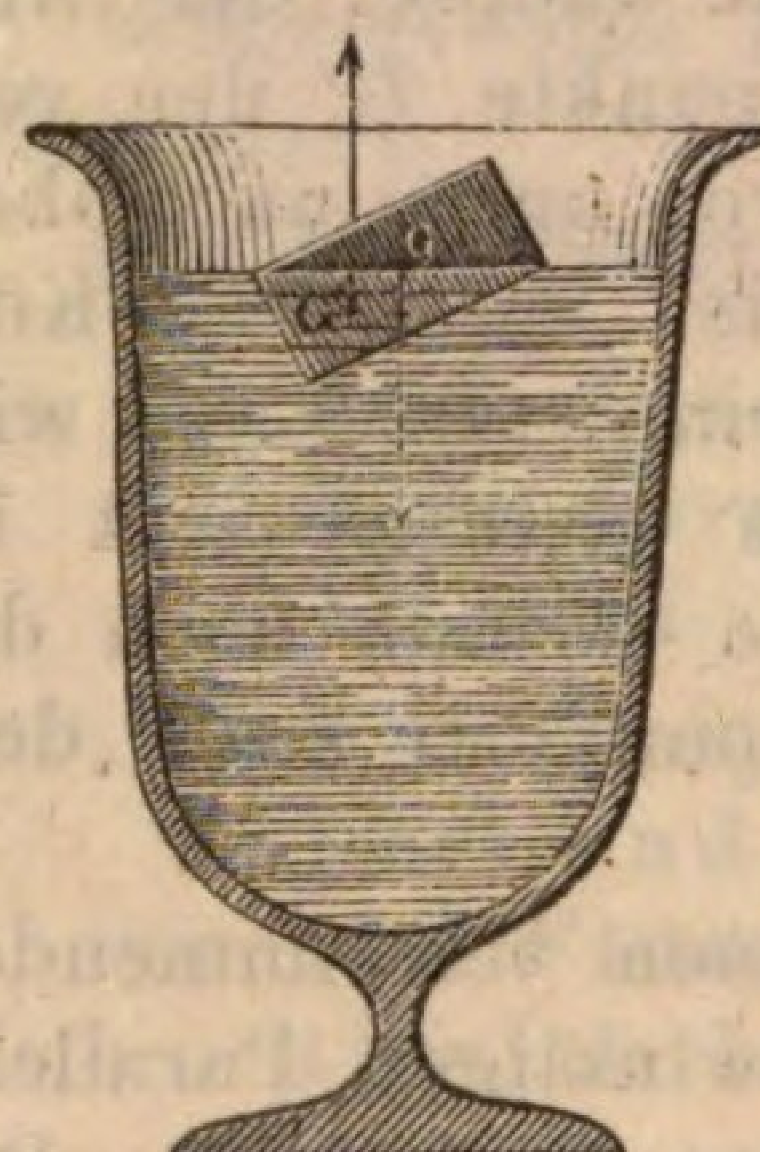
Nehmen wir dagegen einen homogenen schwimmenden Körper von der Form eines flachen rechtwinkligen Parallelepipeds, Fig. 86, z. B. ein Stück von einer Korkplatte. Der Kork wird von selbst eine solche Lage annehmen, dass seine beiden grössten Seitenflächen horizontal sind, und der im Wasser befindliche Theil hat dann ebenfalls die Gestalt eines rechtwinkligen Parallelepipeds. Die Schwerpunkte *G* und *G'* des Körpers und der verdrängten Flüssigkeit fallen dann mit den geometrischen Mittelpunkten der beiden Parallelepipede zusammen, so dass der erstere *G* nothwendig über dem zweiten *G'* liegt; dennoch ist das Gleichgewicht in diesem Falle ein stabiles. Der Schwerpunkt *G* des Korkstückes behält nämlich eine unveränderliche Lage im Innern des Korkes, wie man auch den Kork drehen und wenden mag. Wenn dieses auch mit dem Schwerpunkte *G'* der verdrängten Flüssigkeit der Fall wäre und dieser immer in einem und demselben Punkte des Korkes läge, so würde bei jeder Neigung des Körpers nach der einen oder der anderen Seite hin auch die Verbindungslinie *G G'* beider Schwerpunkte sich neigen, und unter dem Einflusse der beiden in den Punkten *G* und *G'*

Fig. 86.



nach entgegengesetzten Richtungen wirkenden Kräfte müsste nothwendig das Korkstück umschlagen, um in die andere Gleichgewichtslage überzugehen. Aber die Sache verhält sich in der Wirklichkeit anders. Wenn man das Korkstück aus der Gleichgewichtslage bringt, so ändert die verdrängte Flüssigkeit ihre Gestalt und ihr Schwerpunkt *G'* erhält in Folge davon in dem Körper eine andere Lage als vordem. Neigt man den schwimmenden Körper, wie in Fig. 87, nach der Linken, so wird dadurch der Schwerpunkt *G'* nicht auf die rechte Seite der durch *G* gehenden Verticalen verlegt, wie es doch geschehen würde, wenn er dem Körper in seiner Bewegung folgte; er rückt vielmehr auf die linke Seite dieser Verticalen, so dass die in den beiden Punkten *G* und *G'* angreifenden Kräfte den schwimmenden Körper wieder aufzurichten und in die erste Gleichgewichtslage zurückzuführen suchen.

Fig. 87.



Aus dem Vorstehenden folgt, dass das stabile Gleichgewicht beim Schwimmen eines Körpers keineswegs durch die Lage des Schwerpunktes des Körpers über dem Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit bedingt ist; das Gleichgewicht ist allerdings immer stabil, wenn diese Bedingung erfüllt wird, es kann aber auch sonst noch ein stabiles Gleichgewicht vorhanden sein, wenn diese Bedingung nicht erfüllt wird.

63 Lässt man feine Nähnadeln einigemal durch die Finger gehen, um sie mit einer dünnen Schicht Fett zu überziehen, und legt sie dann behutsam auf die Oberfläche des in einem Gefässe enthaltenen ruhig stehenden Wassers, so gelingt es, dieselben auf der Oberfläche schwimmend zu erhalten, wie wenn sie aus einem Stoffe beständen, der leichter ist als Wasser. Da jedoch der Stahl, aus dem die Nadeln angefertigt sind, weit schwerer ist als Wasser, so sollten sie eigentlich nach dem Vorigen sofort untersinken. Die Ursache, dass dieses nicht geschieht, liegt in der Capillarität. Wenn man nämlich die Oberfläche des Wassers, auf welcher die Nadel schwimmt, aufmerksam betrachtet, so sieht man aus dem Lichtreflex, den die Nadel verursacht, sehr bald, dass die Flüssigkeit die Nadel nicht befeuchtet; das Wasser nimmt daher in der unmittelbar-

sten Nähe der Nadel eine ähnliche Form an, wie das Quecksilber, wenn es mit Glas in Berührung steht (§. 28, Fig. 42). In Folge dieser Capillardepression der Flüssigkeit bildet sich um die Nadel herum eine Art Rinne, in welcher die Nadel liegt. Diese verdrängt daher, weil sie wegen der Fettschicht nicht benetzt wird, eine ziemlich grosse Flüssigkeitsmenge, die jedenfalls ein grösseres Volumen hat, als das Volumen der Nadel beträgt, so dass das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit allerdings grösser ist als das der Nadel. Wenn dieses aber der Fall ist, so verhält sich die Nadel wie ein Körper von demselben Gewichte, dessen Volumen aber mehr als ausreichend ist, um die gedachte Rinne vollständig auszufüllen. Ein solcher Körper hat dann nothwendig eine kleinere Dichtigkeit als das Wasser und schwimmt dann auf der Oberfläche desselben.

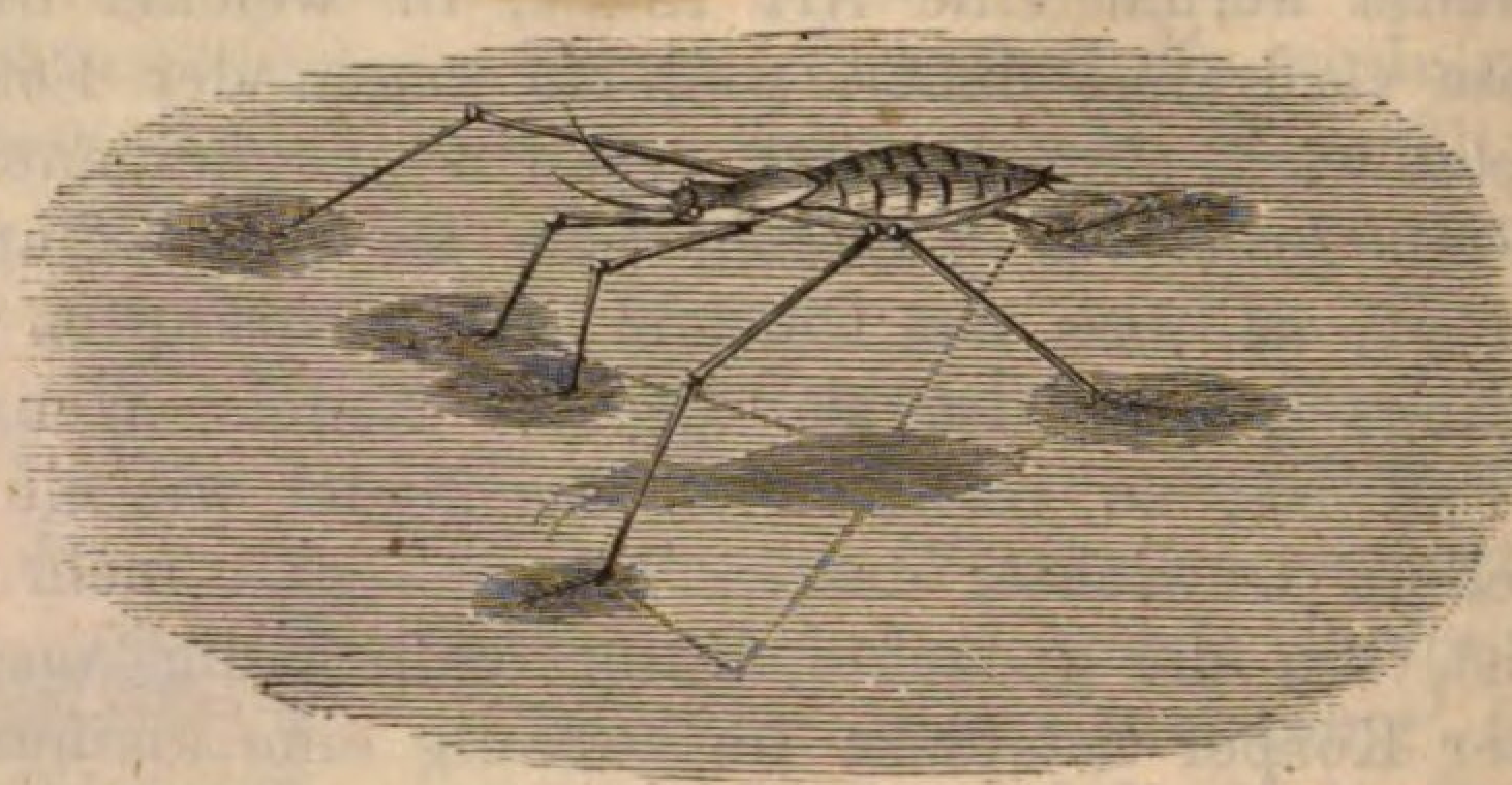
Wenn dieser Vergleich der Nadel mit einem weniger dichten Körper, der die von der Nadel in der Flüssigkeitsoberfläche gebildete Rinne ausfüllen soll, gewagt erscheinen sollte, indem man doch nicht einsieht, wie der Auftrieb der Flüssigkeit auf die Nadel wirken soll, da diese doch nur einen kleinen Theil der Rinne ausfüllt, so denke man sich in der Wassermasse, welche die Nadel trägt, einen verticalen Cylinder von hinlänglich grosser Breite, um die Nadel auf ihrer ganzen Länge zu erfassen, und begränze denselben im Innern der Flüssigkeit durch eine in einem beliebigen Abstande von der Oberfläche gelegte horizontale Ebene. Das Gleichgewicht der ganzen Flüssigkeit erfordert nothwendig, dass der Inhalt dieses Cylinders einen gleich grossen Druck auf die untere Grundfläche ausübe, gleichviel ob die Nadel auf ihrer Oberfläche liegt, oder ob dieses nicht der Fall ist und statt dessen die gebildete Rinne mit Wasser ausgefüllt ist. Hieraus aber folgt, dass das Gewicht der Nadel wirklich gleich ist dem Gewichte der Flüssigkeit, welche die entstandene Rinne ausfüllt, oder auch, dass der Auftrieb der Flüssigkeit gegen die Nadel gleich ist dem Gewichte der von der Nadel und der Capillarwirkung verdrängten Flüssigkeitsmenge.

Dass hierbei die Capillarität wirklich eine Hauptrolle spielt, sieht man daran, dass die Nadel augenblicklich benetzt wird und untersinkt, wenn man vorher ihre Oberfläche durch Waschen mit Alkohol oder Aether von allem Fette sorgfältig gereinigt hat.

Oft sieht man auch Insecten auf der Oberfläche des Wassers

herumlaufen, Fig. 88, ohne dass sie in Gefahr kommen, darin unterzusinken. Auch dieses ist eine Erscheinung der Capillarität,

Fig. 88.



denn die Füsse dieser Thiere werden vom Wasser nicht benetzt, und es bildet sich um sie herum durch die Capillardepression eine convexe Oberfläche. Das Insect ist im Gleichgewichte, wenn die durch seine Füsse gebildeten Vertiefungen in der Oberfläche des Wassers derart sind, dass das Gewicht des Wassers, welches dieselben ausfüllen würde, gleich ist dem Gewichte des Thieres.

64 Beispiele. 1. Da ein in einer Flüssigkeit ganz untergetauchter Körper so viel an seinem Gewichte verliert, als das verdrängte Wasser wiegt, so verliert offenbar ein jeder Körper, dessen Volumen 1 Kubikfuss ist, im Wasser 61,73 Pfund und im Quecksilber sogar $13,5 \times 61,73 = 833,355$ Pfund an seinem Gewichte; 1 Kubikzoll irgend eines Körpers verliert ebenso in Wasser ungefähr 1 Loth an seinem Gewichte (§. 15).

2. Wirft man einen Baumstamm von 1000 Pfund in Wasser und schwimmt derselbe, so taucht er jedenfalls so tief ein, dass das verdrängte Wasser ebenfalls 1000 Pfund wiegt. Da 61,73 Pfund Wasser 1 Kubikfuss ausfüllen, so nehmen 1000 Pfund Wasser ein Volumen von $1000 : 61,73 = 16,2$ Kubikfuss ein; der Baumstamm ist also mit 16,2 Kubikfuss seines Volumens unter Wasser.

3. Wenn ein Mensch, dessen Gewicht 160 Pfund beträgt, im Wasser schwimmt, so wiegt das verdrängte Wasser ebenfalls 160 Pfund; er ist also mit $160 : 61,73 = 2,59$ Kubikfuss im Wasser eingetaucht.

4. Da 1 Kubikfuss Meerwasser im Mittel nahe 63,4 Pfund wiegt, so taucht ein darin schwimmender Mensch von 160 Pfund

mit einem Volumen von 160 : 63,4 = 2,52 Kubikfuss ein, also nicht so tief als im süssen Wasser. Das Schwimmen im Meerwasser ist also leichter als im Flusswasser.

5. Wenn ein Körper im Wasser schwimmt und das Volumen des verdrängten Wassers 8 Kubikfuss beträgt, so wiegt letzteres 8 × 61,73 = 493,84 Pfund, und eben so viel beträgt das Gewicht des schwimmenden Körpers.

6. Um das Volumen eines Körpers, der im Wasser nicht aufgelöst wird, zu bestimmen, braucht man nur seinen Gewichtsverlust im Wasser zu ermitteln; aus dem Gewichte des verdrängten Wassers lässt sich dann auf das Volumen desselben schliessen. Wenn z. B. ein Stück Eisen unter Wasser 13 Loth an Gewicht verliert, so hat es ein Volumen von nahe 13 Kubikzoll, weil der Gewichtsverlust gleich ist dem Gewichte des verdrängten Wassers oder, was dasselbe ist, gleich dem Gewichte eines gleich grossen Volumens Wasser.

Bestimmung des specifischen Gewichtes. Das specifische Gewicht eines Körpers ist bekanntlich (§. 15) die 65
Zahl, welche angiebt, wie viel mal so schwer der Körper ist, als ein gleiches Volumen Wasser. Das Archimedi'sche Princip giebt ein einfaches Mittel an die Hand, das specifische Gewicht sowohl der festen, als auch der flüssigen Körper zu bestimmen. Man bedient sich dabei der hydrostatischen Wage, die wir bereits in §. 58 beschrieben haben.

Soll das specifische Gewicht eines festen Körpers bestimmt werden, so hängt man ihn an einem sehr feinen Faden zuerst unter eine der beiden Wagschalen auf und bestimmt durch Zulegen von Gewichten auf die andere Wagschale das wirkliche (absolute) Gewicht desselben. Alsdann senkt man, wie in §. 58 näher angegeben worden ist, den Wagbalken, nachdem man vorher unter den aufgehängten Körper ein Gefäss mit Wasser gestellt hat, so tief herab, bis dass der Körper im Wasser ganz untergetaucht ist. Der Körper wird dadurch leichter und das Gleichgewicht der Wage ist aufgehoben. Um den Gewichtsverlust des Körpers, den er im Wasser erleidet, zu bestimmen, legt man entweder in seine zugehörige Wagschale Gewichte hinzu, oder nimmt von der andern Schale so viel Gewichte weg, bis das Gleichgewicht der Wage wieder hergestellt ist. Der auf diese Weise erhaltene Gewichtsverlust des Körpers ist nach dem Archimedi'schen Princip gleich dem Gewichte des gleichen Volumens Wasser. Man hat also nur das absolute Gewicht

des Körpers durch das Gewicht des gleichen Volumens Wasser zu dividiren, um das specifische Gewicht des Körpers zu erhalten.

Wenn z. B. ein Stück Eisen in der Luft 5 Loth 6 Quentchen = 5,6 Loth wiegt, im Wasser aber 8 Quentchen = 0,8 Loth an Gewicht verliert, so ist das specifische Gewicht dieses Körpers $\frac{5,6}{0,8} = 7$.

Gewöhnlich bedient man sich bei der Bestimmung der specifischen Gewichte des französischen Grammengewichtes. Wenn daher ein Körper in der Luft 25,72 Gramm wiegt, im Wasser aber 7,35 Gramm an Gewicht verliert, so ist das specifische Gewicht desselben $\frac{25,72}{7,35} = 3,5$.

Um mittelst der hydrostatischen Wage das specifische Gewicht einer Flüssigkeit zu bestimmen, nimmt man einen beliebigen festen Körper, der von der Flüssigkeit nicht aufgelöst oder angegriffen wird, hängt ihn unter die Wagschale auf und bringt ihn ins Gleichgewicht. Alsdann taucht man ihn auf die beschriebene Weise nach einander in Wasser und in die fragliche Flüssigkeit ein, und bestimmt für jede dieser Flüssigkeiten seinen Gewichtsverlust. In diesen beiden Gewichten, welche die Gewichtsverluste des Körpers in Wasser und in der anderen Flüssigkeit angeben, hat man dann die Gewichte eines und desselben Volumens Wasser und jener Flüssigkeit. Wenn man dann das Gewicht des Volumens Wasser in das der Flüssigkeit dividirt, so erhält man das specifische Gewicht der letzteren.

Ein Stück Glas z. B. habe in Wasser 7,4 Gramm, in Schwefelsäure aber 13,764 Gramm an Gewicht verloren, so wiegt das Wasser, welches mit dem Glasstück gleiches Volumen hat, 7,4 Gramm, während die Schwefelsäure, die mit dem Glasstück und daher auch mit dem 7,4 Gramm schweren Wasser gleiches Volumen hat, 13,764 Gramm wiegt; das specifische Gewicht der Schwefelsäure ist daher 13,764 : 7,4 = 1,86.

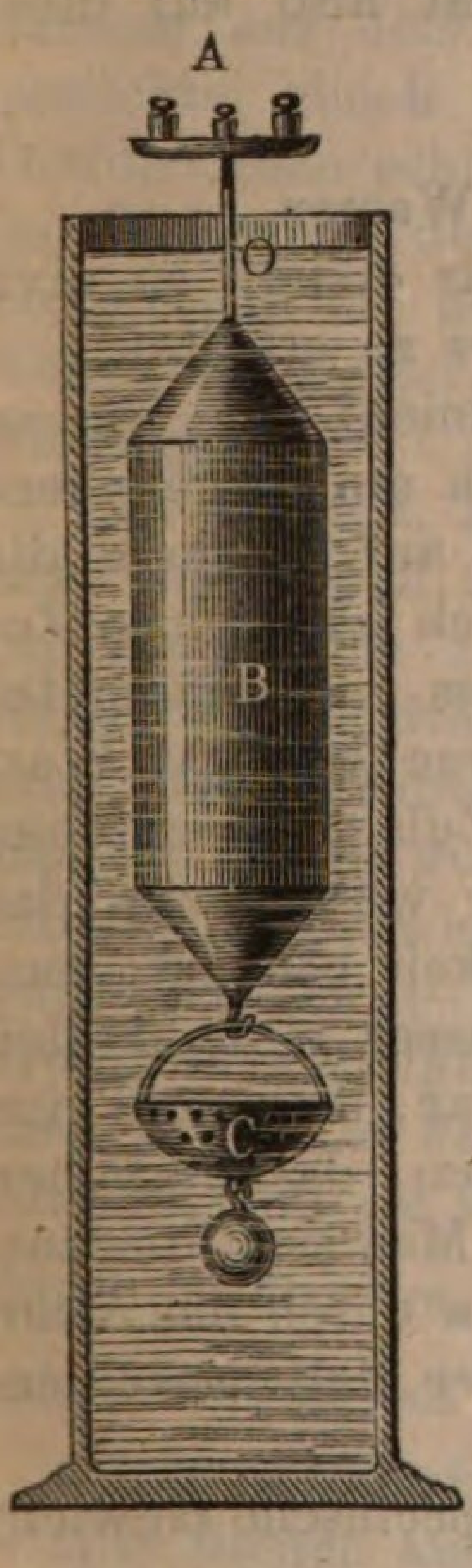
Da das Gewicht des Wassers, welches mit einem Körper gleiches Volumen hat, bei den verschiedenen Temperaturen verschieden ist, so erhält man auch für das specifische Gewicht des Körpers nicht immer eine und dieselbe Zahl, es sei denn, dass das zur Bestimmung desselben angewandte Wasser stets dieselbe Temperatur besässe, und zwar diejenige, welche man dafür ein- für allemal festgesetzt hat. Wendet man aber, wie dieses gewöhnlich zu geschehen pflegt, Wasser von einer anderen Temperatur an, so bedarf das erhaltene Resultat noch einer Correction,

über welche die physikalischen Lehrbücher das Nähere enthalten. In den meisten Fällen aber ist eine solche Correction überflüssig, da der begangene Fehler selbst dann noch sehr klein ist, wenn man statt des destillirten Wassers gewöhnliches Brunnenwasser genommen hat.

Aräometer. Man kann das specifische Gewicht oder die 66
Dichtigkeit eines Körpers auch noch mit Hülfe anderer, hierzu besonders verfertigter Instrumente bestimmen, die man Aräometer nennt. Man unterscheidet Aräometer mit constantem Volumen und mit constantem Gewichte. Im Allgemeinen ist ein Aräometer ein Instrument, welches in Wasser oder einer anderen Flüssigkeit in stabilem Gleichgewichte schwimmt. Die Aräometer mit constantem Volumen bedürfen der Gewichte, mit welchen sie beschwert werden, damit sie stets bis zu einem festen Punkte, also mit einem unveränderlichen Volumen in die Flüssigkeit eintauchen können.

Ein solches Aräometer, unter dem Namen des Nicholson'schen Aräometers bekannt, ist in Fig. 89 abgebildet. Es besteht aus einem hohlen, an beiden Enden kegelförmig zulaufenden Cylinder *B* von Blech oder Messing, an welchem unten ein schweres Körbchen *C* angehängt ist, während das obere Ende auf einem sehr feinen Stäbchen ein Tellerchen *A* zur Aufnahme von Gewichten trägt. Auf dem Stäbchen ist entweder mit einem sehr feinen Stifte oder bloss mit Farbe ein Punkt *O* bezeichnet, der als Marke dient, bis zu welcher das Instrument jedesmal in die Flüssigkeit eintauchen soll. Stellt man dieses Aräometer in ein Gefäss mit Wasser, so schwimmt es in verticaler Stellung, weil wegen der tiefen Lage des schweren Körbchens *C* der Schwerpunkt des ganzen Instrumentes weit tiefer liegt als der Schwerpunkt des verdrängten Wassers. So lange aber das Schälchen *A* noch nicht mit Gewichten belastet ist, ragt die Marke *O* noch weit aus der Flüssigkeit hervor.

Fig. 89.



Um mittelst dieses Instrumentes das specifische Gewicht eines festen Körpers zu bestimmen, taucht man es in ein Gefäss mit Wasser, legt den Körper auf das Tellerchen *A* (derselbe

darf nicht so schwer sein, dass sein Gewicht die Marke *O* unter die Oberfläche des Wassers drücken würde), und legt noch so viel Schrot oder Sand oder sonstige schwere Gegenstände hinzu, bis die Marke *O* genau die Oberfläche des Wassers berührt. Alsdann nimmt man den Körper von dem Tellerchen weg, und legt an seine Stelle so viele Gewichte hinzu, bis die Marke wieder in die Oberfläche des Wassers einspielt; die letzteren Zulagegewichte geben dann offenbar das absolute Gewicht des Körpers an, so dass das Instrument den Gebrauch einer Wage vollständig ersetzt. Nachdem dieses geschehen ist, nimmt man die Zulagegewichte von dem Tellerchen wieder weg und legt den Körper in das Körbchen *C*. Da dieser dadurch an Gewicht verliert, so steigt das Instrument in die Höhe und die Marke *O* ragt wieder aus der Flüssigkeit hervor. Um nun den Gewichtsverlust, den der Körper im Wasser erleidet, zu bestimmen, legt man wieder neue Zulagegewichte auf das Tellerchen, bis die Marke *O* abermals in die Wasserfläche einspielt; diese letzteren Gewichte geben dann den Gewichtsverlust des Körpers, also auch nach dem Archimedi'schen Princip das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser an. Man hat also auf diese Weise gefunden:

1. das absolute Gewicht des Körpers,
2. das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser,

und hat also das letztere Gewicht noch in das erstere zu dividiren, um das specifische Gewicht des Körpers zu erhalten.

Es ist leicht einzusehen, dass das Instrument eine um so grössere Empfindlichkeit besitzt und also auch um so genauere Resultate liefert, je dünner das Stäbchen ist, auf welchem die Marke *O* angebracht ist. Wenn man nämlich ein kleines Zulagegewicht auf das Tellerchen legt, so muss das Aräometer tiefer in die Flüssigkeit einsinken und eine neue Quantität Wasser verdrängen, deren Gewicht gleich dem Zulagegewichtchen des Tellers ist. Diese Quantität Wasser aber wird, wenn das Stäbchen sich schon theilweise in der Flüssigkeit befindet, ausschliesslich von dem neuerdings in das Wasser einsinkenden Theile des Stäbchens verdrängt, und es ist klar, dass, um eine ganz bestimmte Menge Wasser zu verdrängen, das Stäbchen um so tiefer einsinken muss, je dünner es ist. Man sieht hieraus, dass man selbst sehr kleine Gewichtsdifferenzen durch das Aräometer wird wahrnehmen können, wenn nur der Hals desselben, der die Marke trägt, sehr fein ist.

Um mittelst desselben Instrumentes das specifische Gewicht

einer Flüssigkeit zu bestimmen, ist zunächst erforderlich, dass es von dieser Flüssigkeit nicht angegriffen wird. Man verfertigt daher zu diesem Zwecke ähnliche Aräometer von Glas und ersetzt das schwere als Ballast wirkende Körbchen *C* durch eine gläserne mit Quecksilber gefüllte Kugel. Vorab muss man dabei das Gewicht des Instrumentes kennen, wenn das Tellerchen noch nicht mit Gewichten belastet ist, sowie das Gewicht, welches man auf den Teller legen muss, damit es im Wasser bis zur Marke einsinkt. Die Summe dieser beiden Gewichte ist dann gleich dem Gewichte des von dem Aräometer verdrängten Wassers. Stellt man nun ein solches Instrument in eine andere Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht bestimmt werden soll, so wird man im Allgemeinen ein anderes Gewicht auf das Tellerchen legen müssen, als beim Wasser, und zwar ein grösseres, wenn die Flüssigkeit dichter, ein kleineres, wenn sie weniger dicht ist, als Wasser, weil in jedem einzelnen Falle das Gewicht des Aräometers gleich dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit ist und stets gleiche Volumina der Flüssigkeiten von dem Aräometer verdrängt werden. In allen Fällen ist dann die Summe aus dem Gewichte des Aräometers und dem Zulagegewichte gleich dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit. Dividirt man schliesslich das so erhaltene Gewicht des verdrängten Volumens der zu prüfenden Flüssigkeit durch das schon vorher ein- für allemal bestimmte Gewicht des gleich grossen Volumens Wasser, so erhält man das specifische Gewicht jener Flüssigkeit.

Es wiege z. B. das unbelastete Aräometer 70 Gramm und man muss noch 20 Gramm auf das Tellerchen legen, damit es im Wasser bis zur Marke einsinkt, so wiegt das von dem Aräometer verdrängte Wasser $70 + 20 = 90$ Gramm. Taucht man das Instrument in Weingeist, so müssen 1,37 Gramm auf das Schälchen gelegt werden, damit es wieder bis zur Marke einsinkt; also wiegt der von dem Aräometer verdrängte Weingeist nur $70 + 1{,}37 = 71{,}37$ Gramm. Da die beiden verdrängten Flüssigkeiten, Wasser und Weingeist, gleiches Volumen haben, so hat man nur zu sehen, wie vielmal so gross 71,37 Gramm sind als 90 Gramm; man dividirt daher 71,37 Gramm durch 90 Gramm, der Quotient $\frac{71{,}37}{90} = 0{,}793$ ist das specifische Gewicht des Weingeistes.

Die Senkspindeln. Die Aräometer mit constantem Gewichte dienen ausschliesslich zur Bestimmung des specifischen 67

Gewichtes der Flüssigkeiten und werden im Allgemeinen Senkspindeln oder Senkwagen genannt. Sie sind meistens von Glas und bestehen aus einem etwas weiteren hohlen Cylinder *a*, Fig. 90, einem eingetheilten dünneren Halse *b* und einer am unteren Ende angeblasenen, mit einer bestimmten Menge Quecksilber gefüllten Kugel *c*. Eine solche Senkspindel darf in der Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht damit bestimmt werden soll, nicht ganz untersinken; sie schwimmt daher in verticaler Stellung und das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit ist in allen Fällen gleich dem eigenen Gewichte der Spindel. Sie sinkt daher um so tiefer ein, je kleiner die Dichtigkeit der Flüssigkeit ist, und man begreift, dass man aus der Tiefe des Einsinkens, welche an dem eingetheilten Halse abgelesen werden kann, die Dichtigkeit der Flüssigkeit wird bestimmen können.

Fig. 90.



Die Eintheilung des Halses *b* eines solchen Aräometers ist sehr verschieden, je nachdem es für den einen oder den anderen Zweck bestimmt ist. Soll es die Dichtigkeit oder das specifische Gewicht einer Flüssigkeit unmittelbar angeben, so bezeichnen die an den Theilstrichen stehenden Zahlen diese specifischen Gewichte; man braucht dann nur das Instrument in die zu prüfende Flüssigkeit zu tauchen und zuzusehen, bis zu welchem Theilstriche es darin einsinkt. Wenn es dagegen, wie bei den Milchwagen, Alkoholometern u. s. w dazu dienen soll, die Zusammensetzung einer Flüssigkeit, ihren Gehalt an Wasser, ihren Concentrationsgrad u. s. w. anzugeben, so graduirt man es, indem man es nach einander in Flüssigkeiten von verschiedenem Gehalte, welche zu diesem Zwecke vorher besonders bereitet worden sind, eintaucht, sodann die Stellen, bis zu denen es darin einsinkt, markirt und diese mit den Zahlen versieht, welche die Zusammensetzung der Flüssigkeit direct angeben. Es ist klar, dass derartige Senkwagen nur für solche Flüssigkeiten dienen können, für welche sie speciell angefertigt worden sind; die Angaben eines für Kochsalzlösungen graduirten Aräometers würden ganz falsch sein, wenn man sie auf Schwefelsäuremischungen oder auf Spiritus anwenden wollte. Man hat daher Salz- oder Soolewagen, Milch-, Weingeist-, Leim-, Bier-, Wein-, Most-, Laugen- u. s. w. Wagen.

Eine sehr grosse Verbreitung haben die Aräometer gefunden, welche von dem pariser Apotheker Beaumé construirt worden sind und unter dem Namen der Beaumé'schen Senkwagen im Handel vorkommen. Die Eintheilung der Scala geschieht bei diesem Instrumente nach willkürlich festgestellten Regeln, und ist verschieden, je nachdem dieselben für Flüssigkeiten dienen sollen, die schwerer oder leichter sind als Wasser. Im ersteren Falle giebt man der Spindel ein solches Gewicht, dass sie im destillirten Wasser von 15° C. beinahe ganz untersinkt, und bezeichnet den Einsenkungspunkt mit 0. Dann bereitet man sich eine Auflösung von 85 Gewichtstheilen Wasser und 15 Theilen Kochsalz, taucht die Spindel hinein und bezeichnet den Einsenkungspunkt mit 15. Den Abstand zwischen 0 und 15 theilt man in 15 gleiche Theile (Grade) und trägt diese Theile weiter nach unten bis zum Ende des Halses ab. In dieser Weise wird die Senkspindel gewöhnlich für Säuren und die verschiedenen Salzauflösungen gebraucht. Für Flüssigkeiten, die specifisch leichter sind als Wasser, muss das Instrument leichter gemacht werden, als im vorigen Falle, da der Nullpunkt sich am unteren Ende der Scala befinden muss. Zu diesem Zwecke bereitet man sich eine Mischung von 90 Gewichtstheilen destillirten Wassers und 10 Gewichtstheilen Kochsalz, taucht die Spindel hinein und bezeichnet den Einsenkungspunkt mit 0, während der Einsenkungspunkt in Wasser mit 10 bezeichnet wird. Den Abstand dieser beiden Punkte theilt man in 10 gleiche Theile, die man Grade nennt, und trägt dieselben noch weiter bis zum höchsten Punkte der Spindel auf den Hals derselben ab.

Die Beaumé'schen Aräometer geben weder die Dichtigkeit einer Flüssigkeit, noch ihre Zusammensetzung oder den Gehalt an Wasser an; sie sind aber gleichwohl in der Praxis sehr geeignet, um anzugeben, welchen Concentrationsgrad irgend eine zu einem bestimmten Zwecke zu verwendende Flüssigkeit haben muss.

Tabelle der specifischen Gewichte. Wir stellen in der 68
folgenden Tabelle die specifischen Gewichte von einigen der wichtigeren festen und flüssigen Körper zusammen, wobei das des Wassers von 4° C. als Einheit angenommen ist.

Feste Körper	Specifisches Gewicht	Flüssigkeiten	Specifisches Gewicht
Platin, gewalzt	22,069	Quecksilber	13,598
„ gegossen . . .	20,337	Schwefels., Nordhäuser	1,860
Gold, geschmiedet . .	19,362	„ englische .	1,842
„ gegossen	19,258	Salpeters., concentrirte	1,500
Blei, gegossen	11,352	Salzsäure, concentrirte	1,205
Silber, gegossen . . .	10,474	Meerwasser vom todten Meere	1,211
Kupfer, Draht	8,878	Meerwasser vom Marmormeere	1,020
„ gegossen . . .	8,788	Meerwasser vom Mittelmeere	1,027
Eisen, geschmiedet . .	7,788	Meerwasser vom schwarzen Meere	1,014
„ gegossen . . .	7,207	Meerwasser von der Ostsee	1,005
Zinn, gegossen . . .	7,291	Wasser	1,000
Zink, gegossen . . .	6,861	Wein, Madeira	1,038
Marmor	2,837	„ Bordeaux . . .	0,994
Glas, weisses	2,300	„ Rheinw. 0,992 bis	1,002
Steinkohle	1,329	Rüböl	0,916
Buchenholz, im Mittel	0,852	Olivenöl	0,927
Ulmenholz	0,800	Leberthran	0,921
Fichtenholz, junges .	0,657	Terpentinöl	0,860
Eichenholz, trocken .	0,650	Steinöl, weisses	0,845
Pappelholz	0,389	Alkohol, absoluter . . .	0,791
Kork	0,240	Schwefeläther	0,710

Kennt man das specifische Gewicht eines Körpers, so kann man aus seinem Volumen leicht sein absolutes Gewicht be-

rechnen und umgekehrt, wie nachstehende Beispiele zeigen. Der Einfachheit wegen nehmen wir dabei das Gewicht von 1 Kubisfuss Wasser zu $61\frac{3}{4}$ Pfund, und von 1 Kubikzoll zu 1 Loth an.

1. Ein prismatisch behauener trockener Eichenstamm, der 18 Fuss lang ist und an jeder Seite des rechteckigen Querschnitts 8 Zoll misst, hat ein Volumen von $18 \times \frac{4}{9} = 8$ Kubikfuss. Nun wiegen 8 Kubikfuss Wasser $8 \times 61\frac{3}{4} = 494$ Pfund; da aber trockenes Eichenholz 0,650mal so schwer ist, als ein gleiches Volumen Wasser, so wiegt der Eichenstamm $0{,}650 \times 494 = 321{,}1$ Pfund.

2. Um also aus dem Volumen eines Körpers das Gewicht desselben zu bestimmen, berechnet man zuerst, wie viel ein gleiches Volumen Wasser wiegt, und multiplicirt das erhaltene Gewicht mit dem specifischen Gewichte des Körpers.

3. Was wiegen 10 Kubikzoll Gusseisen?

10 Kubikzoll Wasser wiegen 10 Loth, daher 10 Kubikzoll Gusseisen $7{,}207 \times 10 = 72{,}07$ Loth.

4. Wenn 1 Kubikfuss Wasser $61\frac{3}{4}$ Pfund wiegt, so nimmt umgekehrt 1 Pfund Wasser einen Raum von $\frac{4}{247}$ Kubikfuss oder sehr nahe 28 Kubikzoll ein. Hiernach ist es sehr leicht, aus dem Gewichte des Wassers das Volumen desselben zu bestimmen.

5. Eine Flasche fasst 6 Pfund Wasser; wie gross ist ihr Rauminhalt? Da 1 Pfund Wasser ein Volumen von 28 Kubikzoll hat, so ist das Volumen von 6 Pfund Wasser $6 \times 28 = 168$ Kubikzoll.

6. Welches Volumen hat ein Gefäss, welches $18\frac{1}{3}$ Loth Wasser fasst? 1 Loth Wasser hat ein Volumen von 1 Kubikzoll; daher ist der Rauminhalt des Gefässes $18\frac{1}{3}$ Kubikzoll.

7. Ein unregelmässig behauener Marmorblock wiegt 1800 Pfund; wie gross ist dessen Rauminhalt? Da 1 Pfund Wasser ein Volumen von 28 Kubikzoll hat, so würden 1800 Pfund Wasser einen Raum von $1800 \times 28 = 50400$ Kubikzoll einnehmen; da aber Marmor 2,837mal so schwer ist, als ein gleiches Volumen Wasser, so nimmt irgend ein Gewicht Marmor einen 2,837mal kleineren Raum ein, als ein gleiches Gewicht Wasser. Der Marmorblock hat also ein Volumen von $\frac{50400}{2{,}837} = 17765{,}9$ Kubikzoll, oder von 10 Kubikfuss 485,9 Kubikzoll.

8. Um daher aus dem Gewichte eines Körpers das Volumen desselben zu bestimmen, berechnet man zuerst das Volumen eines gleichen Gewichtes Wasser, und dividirt die erhaltene Zahl durch das specifische Gewicht des Körpers.

69 **Schwimmen der Schiffe.** Die Schiffe und sonstige Fahrzeuge, mit denen man Lasten zu Wasser transportirt, sind schwimmende Körper, welche durch den gegen ihren eingetauchten Theil wirkenden Auftrieb des Wassers an der Oberfläche desselben gehalten werden, und daher eine Quantität Wasser verdrängen, dessen Gewicht gleich ihrem eigenen Gewichte ist. Wie schwer man daher auch ein Schiff machen mag, es wird stets auf dem Wasser schwimmen, wenn das verdrängte Wasser so viel wiegt, wie das Schiff selbst.

Damit jedoch ein Schiff hinlängliche Stabilität besitze, um nicht bei jedem Schwanken in die Gefahr zu kommen, umgeworfen zu werden, muss sein Schwerpunkt eine möglichst tiefe Lage haben. Aus diesem Grunde belastet man es an seinen tiefsten Stellen mit den schwersten Frachtstücken, wie Eisen, Steine u. s. w., und in Ermangelung solcher Frachtstücke mit Sand oder sonstigen schweren Materialien, die den Schiffsballast bilden. Da man im Allgemeinen dem Schwerpunkte des Schiffes nicht die Lage geben kann, dass er beim Gleichgewichtszustande unterhalb des Schwerpunktes der verdrängten Flüssigkeit liegt, so muss das Schiff selbst eine solche Gestalt erhalten, dass trotz dieses der Stabilität so ungünstigen Umstandes der Auftrieb des Wassers das Schiff immer wieder in die anfängliche Gleichgewichtslage zurücktreibt, wie auch äussere Ursachen, Wind oder Wellen, darauf einwirken und es ins Schwanken bringen mögen (§. 62).

Die Tragfähigkeit oder den Tonnengehalt eines Schiffes berechnet man nach der Menge Wasser, die es ohne Nachtheil für die übrigen Bedingungen einer guten Fahrt verdrängen kann, überhaupt also nach dem Gesammtgewichte, das es annehmen kann, weil dieses Gewicht allemal gleich dem Gewichte des verdrängten Wassers ist. Als Einheit des Gewichtes nimmt man dabei die Tonne an; 1 Tonne = 1000 Kilogramm = 2000 Pfund = 20 Centner oder einer halben Schiffslast preussisch. Wenn man z. B. sagt, dass ein Schiff einen Gehalt von 200 Tonnen hat, so heisst das, sein Gewicht kann bis zu 4000 Centner oder 400000 Pfund steigen, oder

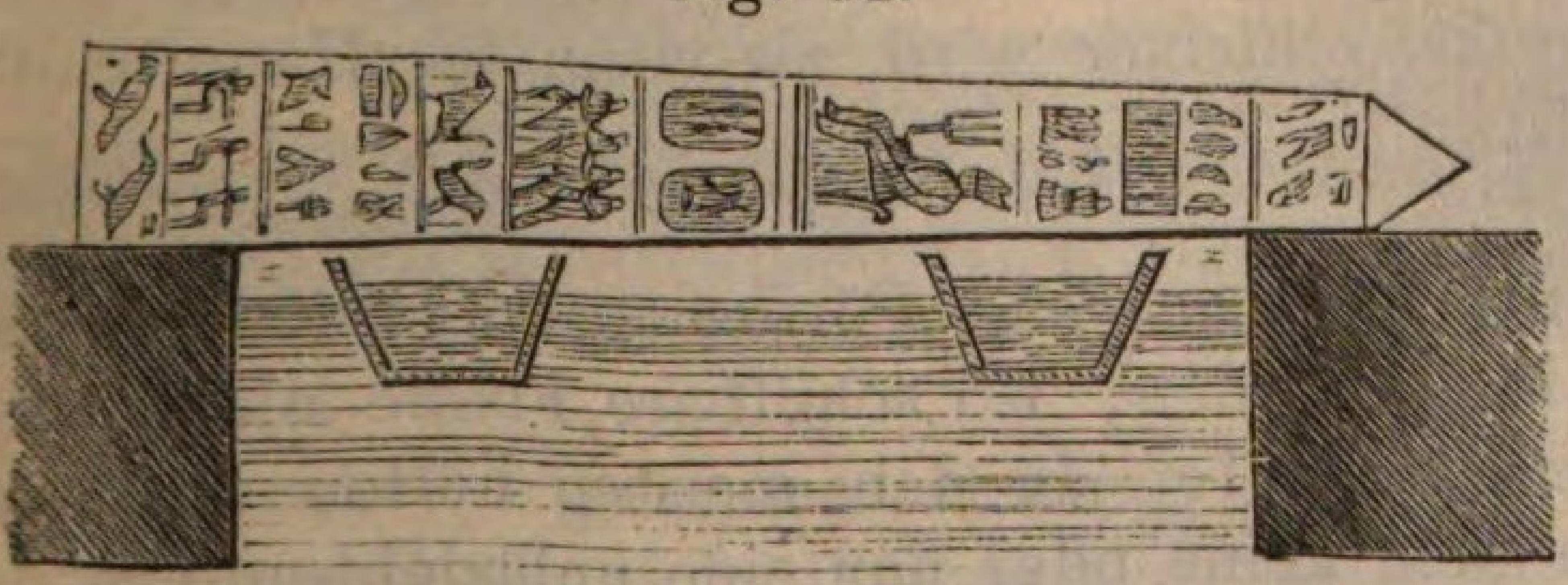
auch, es kann noch fahren, wenn es 400000 Pfund oder 6480 Kubikfuss Wasser verdrängt.

In dem Maasse, wie ein Schiff stärker beladen wird, sinkt es um einen entsprechenden Theil tiefer ein; die Tiefe aber, um welche es dabei einsinkt, ist um so kleiner, je grösser die Schwimmebene ist; man bezeichnet mit diesem Namen den Flächeninhalt desjenigen horizontalen im Innern des Schiffes liegenden Schnittes, den man durch die Oberfläche des Wassers legt. Wenn z. B. diese Fläche 900 Quadratfuss oder 129600 Quadratzoll beträgt und die Belastung um 2000 Pfund zunimmt, so verdrängt das Schiff auch 2000 Pfund Wasser mehr als vorher. Da nun 1 Pfund Wasser nahe 28 Kubikzoll einnimmt, so ist das Volumen von 2000 Pfund Wasser 56000 Kubikzoll. Sollen diese sich prismatisch über eine Fläche von 129600 Quadratzoll ausdehnen, so beträgt die Höhe des Prismas nur $\frac{56000}{129600}$ $= 0{,}43$ Zoll, und um so viel sinkt das Schiff durch die Mehrbelastung um 2000 Pfund tiefer in das Wasser ein.

Die vorstehenden Zahlenbeispiele beziehen sich sämmtlich auf gewöhnliches Wasser und gelten daher für das Schwimmen der Schiffe in süssem Wasser. Da das specifische Gewicht des Meerwassers im Mittel zu 1,026 angenommen werden kann, so wiegt ein Kubikfuss Meerwasser $1{,}026 \times 61{,}73 = 63{,}33$ Pfund, wonach die obigen Resultate für Meerwasser etwas anders ausfallen, als für süsses Wasser.

Als ein Beispiel, wie schon im hohen Alterthume die Schiffe 70
dazu gedient haben, schwere Lasten von der Stelle zu bewegen, führen wir die Art und Weise an, wie die Aegyptier ihre kolossalen Obelisken aus den Steinbrüchen an den Ort ihrer Aufstellung zu bringen pflegten. Wenn der Obelisk in dem Steinbruche bearbeitet und fertig gestellt war, grub man unter demselben fast auf seine ganze Länge einen Kanal derart, dass er nur noch mit seinen beiden Enden auf der Erde auflag, Fig. 91. Bei der nächsten Ueberschwemmung des Nils füllte sich der Kanal mit Wasser und man stellte nun zwei oder meh-

Fig. 91.



rere mit Ziegelsteinen gefüllte Schiffe unter den Obelisk auf. Nachdem dieses geschehen, warf man die Ziegelsteine heraus, wodurch die Schiffe sich erleichterten und allmälig in die Höhe stiegen. Auf diese Weise erreichten sie mit ihrem oberen Rande bald den Obelisken, und nahmen endlich, wenn noch mehr Steine daraus entfernt wurden, diesen auf und hoben ihn von seinem Lager mit in die Höhe. Von nun an war es leicht, den Steinkoloss auf dem Wasser an Ort und Stelle zu bringen, wo er dann in ähnlicher, nur umgekehrter Weise niedergelassen wurde.

71 Wenn ein Schiff, welches einen grossen Tiefgang hat, bei niedrigem Wasserstande nicht in den Hafen einlaufen kann, so hebt man dasselbe mit flachen Schiffen, die man zu beiden Seiten desselben aufstellt, in die Höhe. Dieselben sind so eingerichtet, dass sie sich leicht an die Seiten des Schiffes anlegen lassen; in dieser Stellung werden sie mit einander durch starke Seile verbunden, die unter dem Kiele des zu hebenden Schiffes durchgehen und auf der Welle mehrerer starker Erdwinden befestigt sind, welche auf den seitlichen Schiffskasten stehen. Wenn die Winden beiderseits in Bewegung gesetzt werden, so drehen sie das Seil auf und heben das zwischen ihnen befindliche Schiff in die Höhe. Da das Gewicht des Schiffes zum Theil auf die seitlichen Schiffskasten übertragen wird, so senken sich diese, während das Hauptschiff gehoben wird; ist letzteres hoch genug gefördert, so wird es mit seinen beiden Trägern in den Hafen gebracht, wie wenn das Ganze nur einen einzigen Schiffskörper ausmachte. Wie man sieht, besteht dieses in Holland sehr häufig angewandte Mittel, den Tiefgang eines Schiffes zu vermindern, nur darin, durch die Hinzufügung der flachen Seitenschiffe die Schwimmfläche zu vergrössern; der ganze Schiffsapparat verdrängt dann zwar mehr Wasser als das Schiff allein, weil das Gewicht des letzteren um das Gewicht der beiden Seitenschiffe vermehrt worden ist, aber das Volumen des verdrängten Wassers verbreitet sich dafür auch auf eine viel grössere horizontale Fläche, so dass die Tiefe des Einsinkens kleiner wird, als wenn das Hauptschiff allein vorhanden ist.

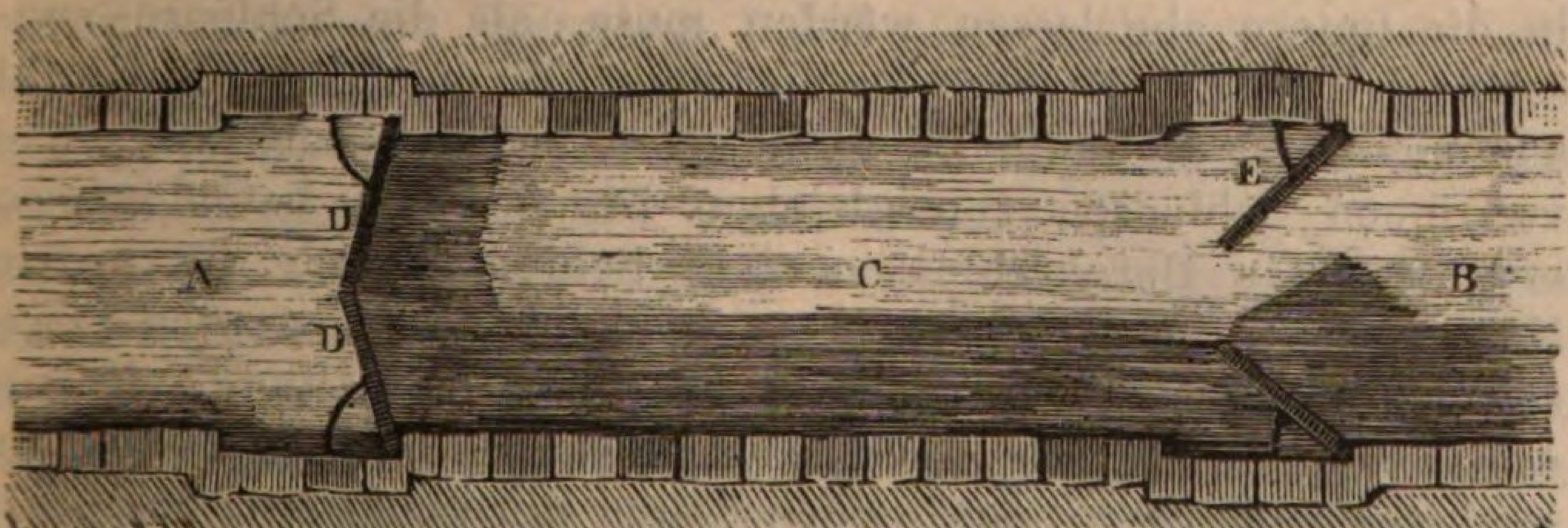
72 **Kanäle. — Schleusen.** Die Förderung der Lasten zu Wasser geschieht in Gegenden, wo schiffbare Flüsse nicht vorhanden sind, durch Kanäle. In den meisten Fällen hat das Wasser in den Kanälen keine oder nur eine unbedeutende Strö-

mung und dann ist der Boden derselben söhlig (horizontal); zuweilen aber fliesst das Wasser in dem Kanal mit einer Geschwindigkeit wie in den Flüssen, und dann ist seine Fläche offenbar geneigt; diese Neigung ist jedoch in allen Fällen sehr gering. Es könnte daher auf den ersten Blick scheinen, dass ein Kanal nur in einer ebenen Gegend ausgeführt werden könne, da ja bei einem ansteigenden Terrain die Oberfläche des Wassers in einiger Entfernung von dem tiefsten Punkte des Kanals sich so tief unterhalb des Terrains einsenken müsste, dass es, von vielen anderen Unzuträglichkeiten abgesehen, schwer sein würde, die Seitenwände vor dem Einsturz zu bewahren. Aber dieses ist keineswegs der Fall; man kann die Kanäle ebenso gut in einem geneigten Terrain, wie in der Ebene ausführen und es dennoch einrichten, dass die Oberfläche des Wassers nur wenig von dem Rande des Kanals entfernt bleibt.

Um dieses zu erreichen, theilt man den ganzen Kanal in mehrere sich aneinander anschliessende Strecken, in denen einzeln das Niveau des Wassers eine verschiedene Höhe hat, und verbindet je zwei zunächst aneinander stossende Kanalstrecken, die man Haltungen nennt, mit einer Schleuse. Eine solche Schleuse ist ein ausgemauertes Bassin, Schleusenkammer genannt, durch dessen Anfüllung mit Wasser ein in dasselbe hineingelassenes Schiff von einer Haltung auf die nächst höhere gehoben, und durch dessen Entleerung ein solches Schiff von einer Haltung auf die nächst tiefere niedergelassen werden kann. Wenn die Schleuse gefüllt werden soll, wird sie von der unteren, wenn sie dagegen entleert werden soll, von der oberen Haltung abgesperrt.

Die Fig. 92 zeigt eine solche Schleusenkammer C mit den

Fig. 92.



beiden zunächst gelegenen Haltungen A und B, von denen A die höher, B die tiefer gelegene bezeichnet. Die Schleuse C

ist durch Thore, die Schleusenthore *DD*, *EE*, mit den beiden Haltungen verbunden; ihre Dimensionen sind der Länge und Breite nach so gewählt, dass die grössten Schiffe, wie sie auf dem Kanale vorkommen, darin bequem Platz haben, wogegen ihre Tiefe so bemessen wird, dass die Schiffe darin einlaufen können, wenn ihr Niveau mit dem der unteren Haltung *B* übereinstimmt; ihre Seitenwände müssen ausserdem höher sein als das Niveau des Wassers in der oberen Haltung *A*.

Um nun ein Schiff von der unteren Haltung *B* in die höhere *A* hinaufzubringen, schliesst man die Thore *D* und öffnet die Thore *E*. Nachdem dann das Wasser in der Haltung *B* und der Schleusenkammer *C* gleiches Niveau erreicht hat, kann man das Schiff in die Schleuse *C* hineinbringen. Ist dieses geschehen, so schliesst man die Thore *E*, und stellt eine Verbindung zwischen der oberen Haltung *A* und der Schleuse *C* her; das Wasser steigt nun in der Schleuse und hebt das Schiff, so dass man es ohne Weiteres, wenn die Niveaus gleiche Höhe erreicht haben, nach Oeffnung der Thore *D*, in die obere Haltung *A* hineinführen kann.

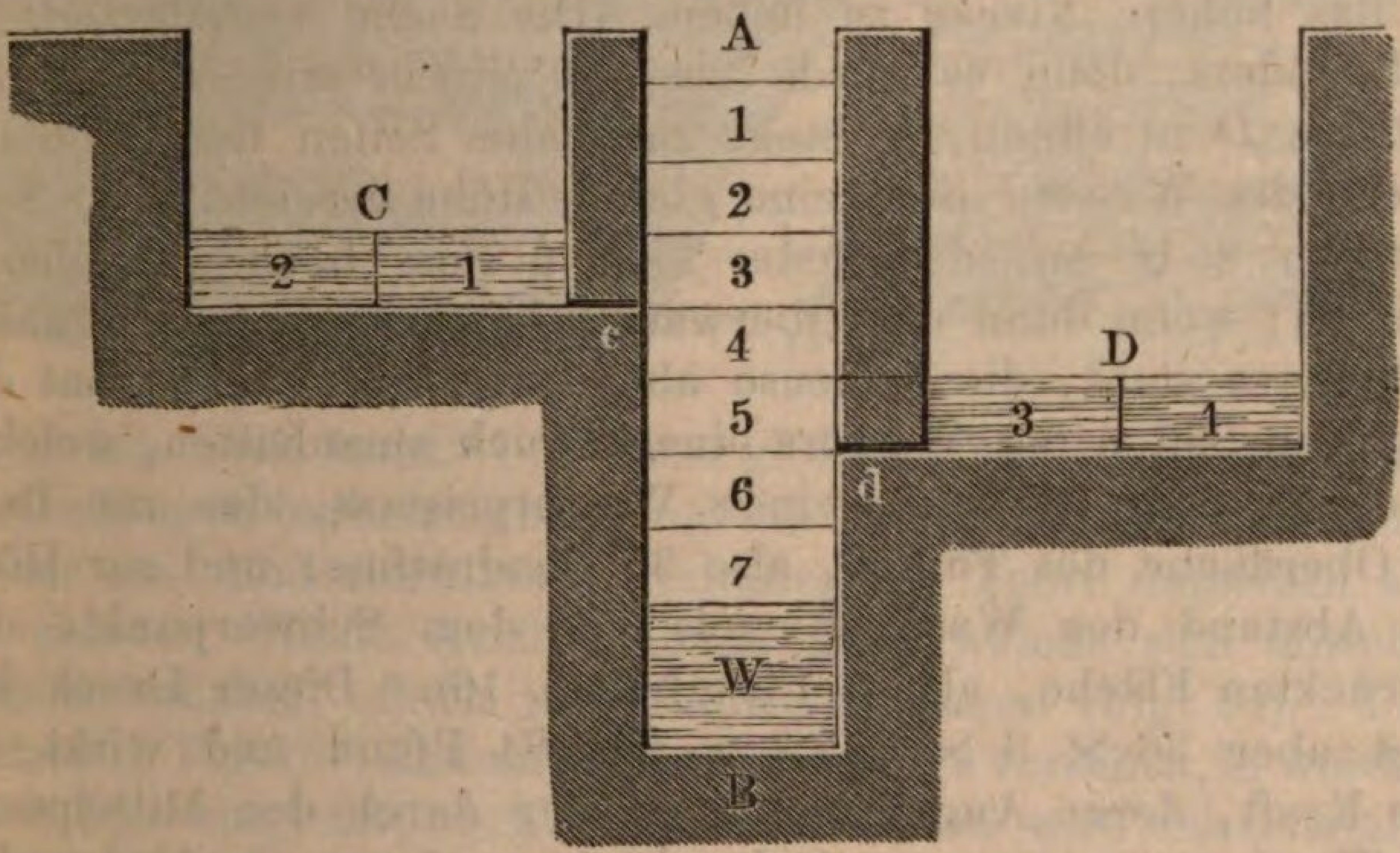
Soll das Schiff den Kanal abwärts befahren, so verfährt man in der entgegengesetzten Weise. Man schliesst die Thore *E* und öffnet *D*, so dass sich in *A* und *C* das Niveau auf dieselbe Höhe stellt, führt dann das Schiff in die Schleuse *C* hinein und schliesst die Thore *D*. Indem man nun eine Verbindung zwischen der Schleuse *C* und der unteren Haltung *B* herstellt, sinkt das Niveau der Schleuse und stellt sich auf die Höhe des Niveaus *B*. Man öffnet jetzt die Thore *E* und lässt das Schiff in die untere Haltung *B* hineinlaufen.

Man sieht hieraus, dass jedesmal, wenn ein Schiff die Schleuse passiren soll, so viel Wasser aus der oberen Haltung in die untere abgelassen werden muss, als die Schleuse zwischen den beiden Niveaus fassen kann. Wenn daher ein Kanal aus mehreren Haltungen besteht, und sich zwischen je zwei von ihnen Schleusen von gleichen Dimensionen befinden, so erfordert das Durchschleusen eines Schiffes durch die ganze Kanalstrecke einen Wasserverbrauch gleich der genannten Wassermenge von der obersten bis zur untersten Haltung. Wenn ein Kanal durch ein Gebirge hindurchgehen, also von der höchsten Höhe aus nach beiden Seiten hin abhängen muss, so befindet sich auf dem höchsten Punkte des Berges ein Sammelbassin von sehr grossen Dimensionen, das durch ein fliessendes Wasser oder durch die atmosphärischen Niederschläge einen so

grossen Wasserzufluss haben muss, als zur Speisung des Kanals beim Durchschleusen der Schiffe erforderlich ist. Um den mit jedem Durchschleusen verbundenen Verlust an Wasser möglichst klein zu machen, giebt man den Schleusen keine grössere Dimensionen, als es für die Passage der grössten Schiffe eben nöthig ist. Ebenso wendet man, um das beim Niederlassen eines Schiffes in einer Schleuse verbrauchte Wasser in einer Weise aufzufangen, dass es beim Aufziehen eines anderen Schiffes oder bei einer folgenden Füllung der Schleuse wieder gebraucht werden kann, häufig sogenannte Seitenbassins an, welche einen Theil der Füllmasse aufnehmen.

In der Regel wendet man ein bis zwei solche Bassins an, wie Fig. 93 zeigt. *AB* ist die Schleuse, *C* und *D* sind die Sei-

Fig. 93.



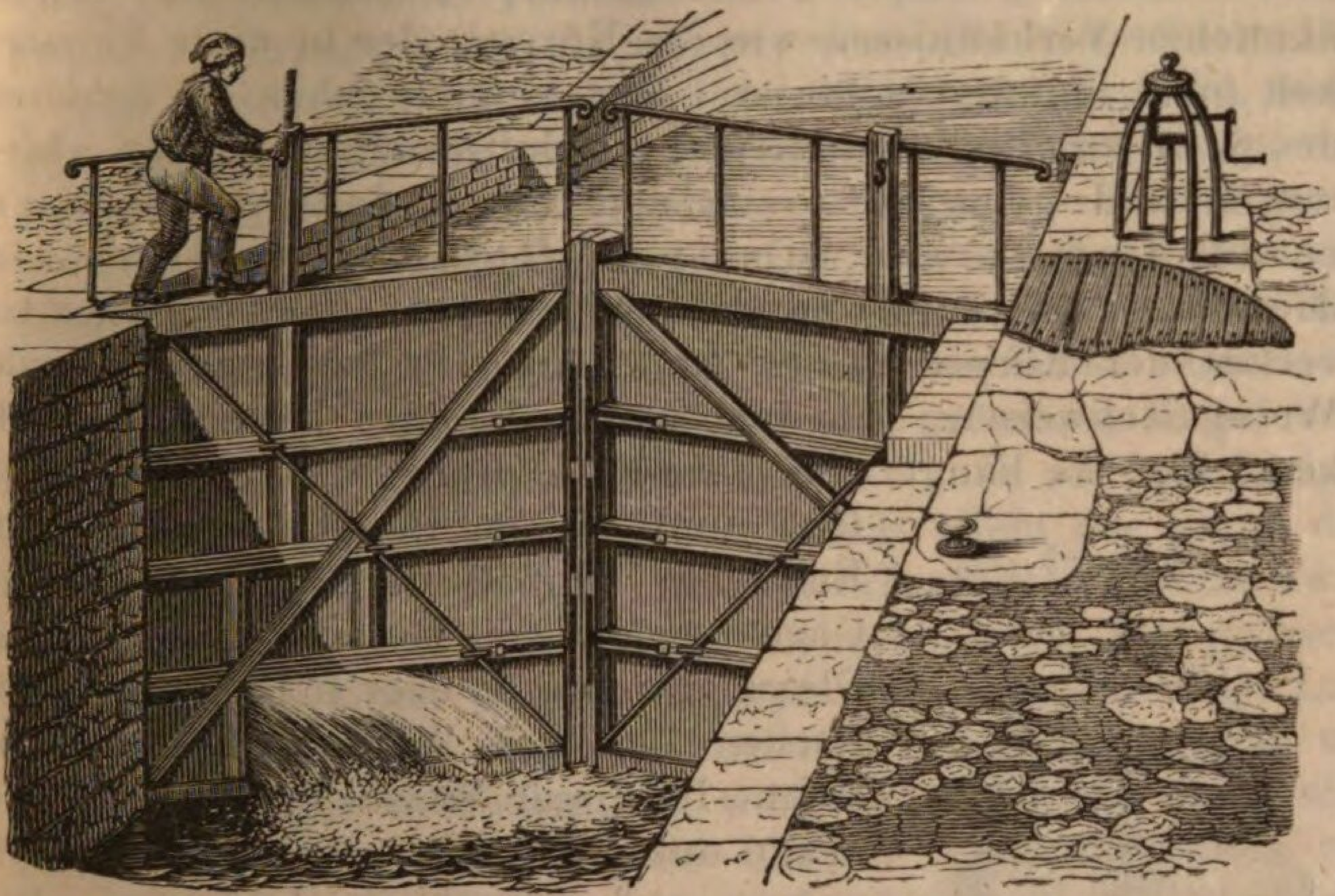
tenbassins, welche eine doppelt so grosse Grundfläche haben, als die Schleuse. Wenn ein Schiff niedergelassen werden soll, so ist die Schleuse *AB*, in welcher es sich befindet, voll Wasser. Die ganze Füllmasse ist hier in sieben gleiche Wasserschichten abgetheilt. Soll das Schiff von der Schleuse in die untere Haltung geführt werden, so muss sie vorher entleert und ihr Niveau auf das der unteren Haltung gebracht werden. Um nun die Füllmasse der Schleuse nicht verloren gehen zu lassen, so öffnet man zuerst den Seitenkanal *c* und lässt die beiden Schichten (1) und (2) in das Bassin *C* ab; hierauf schliesst man *c* ab, öffnet den Seitenkanal *d*, und lässt die Wasserschichten (3) und (4) in das Bassin *D* ablaufen. Schliesst man nun *d* wieder, so bleiben noch die Wasserschichten (5), (6), (7) übrig,

welche in die untere Haltung abzulassen sind. Soll nun bei der nächsten Auffahrt eines Schiffes die Schleuse *AB* wieder gefüllt werden, so füllt man zuerst (7) und (6) aus *D*, dann (5) und (4) aus *C* und endlich (3), (2) und (1) aus dem Oberwasser. Die Wasserersparniss beträgt daher $^4/_7$ der ganzen Füllmasse.

73 Wir haben bereits gesagt, dass man, wenn ein Schiff aus der unteren Haltung *B* in die Schleuse *C* gebracht worden ist, die Schleusenthore *C* schliessen und eine Verbindung zwischen der Schleuse und der oberen Haltung *A* herstellen muss, damit sich das Niveau auf beiden Seiten der Thore *D* auf eine gleiche Höhe stelle. Man könnte nun glauben, dass man zu diesem Zwecke nur die Thore *D* zu öffnen brauche, um das Oberwasser ohne Weiteres in die Schleuse zu lassen und damit das Schiff auf das höhere Niveau zu heben. Die Sache verhält sich jedoch anders, denn es würde äusserst schwer sein, die Schleusenthore *D* zu öffnen, so lange zu beiden Seiten derselben das Niveau des Wassers nicht eine gleiche Höhe erreicht hat. Nehmen wir z. B. an, dass jedes Thor 6 Fuss hoch und ebenso breit sei; wenn dann das Oberwasser bis zum höchsten Punkte des Thores steht, die Schleuse aber ganz leer ist, so hat das Thor von Seiten des Wassers einen Druck auszuhalten, welcher gleich ist dem Gewichte eines Wasserprismas, das zur Basis die Oberfläche des Thores, also 36 Quadratfuss, und zur Höhe den Abstand des Wasserspiegels von dem Schwerpunkte der gedrückten Fläche, also 3 Fuss hat (§. 16). Dieser Druck beträgt aber $36 \times 3 \times 61{,}73 = 6666{,}84$ Pfund und wirkt als eine Kraft, deren Angriffspunkt in der durch den Mittelpunkt des Thores gezogenen verticalen Linie, und zwar im Endpunkte des ersten Drittels derselben, von der unteren Kante des Thores an gerechnet, liegt (§. 17). Man sieht also, dass unter solchen Umständen das Thor nur durch Anwendung einer ungeheuren Kraft geöffnet werden könnte. Damit übrigens die beiden Thore einen solchen Druck aushalten können, macht man sie sehr stark, verstrebt sie gehörig durch Querhölzer, und lässt sie, wenn sie geschlossen sind, so gegen einander zusammenstossen, dass sie auf der Seite des Oberwassers einen überstumpfen Winkel bilden, Fig. 92. Auf diese Weise presst der Druck des Oberwassers die beiden Thore immer fester zusammen, und sie können nur dann diesem Drucke nachgeben, wenn das die Seitenwand der Schleuse bildende massive Mauerwerk nicht fest genug ist.

Die Schleusenthore werden, wie bereits gesagt, nicht eher geöffnet, als bis das Wasser in der Schleuse und der oberen Hal-

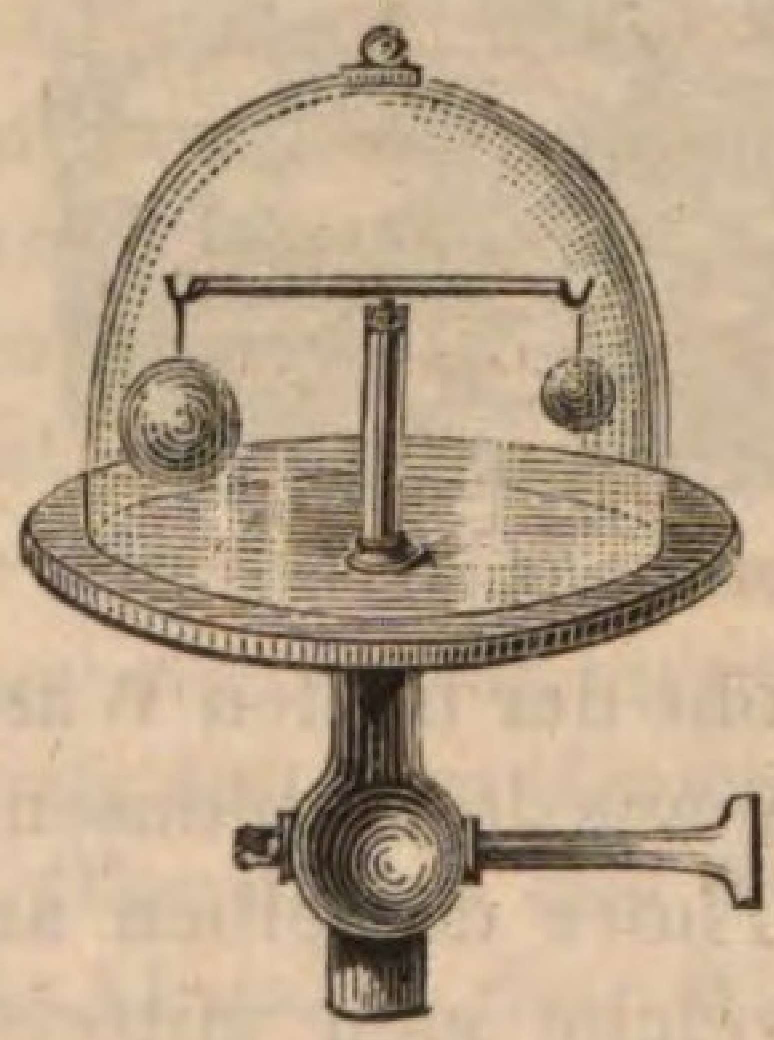
Fig. 94.



tung gleich hoch steht. Um diese gleiche Höhe der beiden Wasserabtheilungen herbeizuführen und das Wasser aus der Schleusenkammer aus- und einzulassen, erhalten die Thore derselben an dem unteren Theile Ausflussmündungen, welche sich mittelst Schützen beliebig öffnen und schliessen lassen (Fig. 94). Die Schützen (I. Fig. 153) sind mit einer Zahnstange versehen, in welche ein Getriebe eingreift; vermittelst einer Kurbel wird das Getriebe rundgedreht, die Schütze auf- oder abbewegt und dadurch die Thoröffnung nach Belieben geöffnet oder geschlossen. Anstatt der Oeffnungen in den Thoren sind häufig überwölbte oder gusseiserne Kanäle (Dohlen), sogenannte Umläufe, angebracht, welche sich innerhalb des Mauerwerkes der Schleuse um die Thore herumziehen und die Schleusenkammer mit den Haltungen in Verbindung setzen, übrigens aber ebenfalls durch Schützen geöffnet und verschlossen werden können. Erst nachdem durch die Thoröffnungen oder durch diese Umläufe die beiden benachbarten Wasserspiegel auf die gleiche Höhe gebracht worden sind, werden behufs Durchlassung der Schiffe die Schleusenthore selbst geöffnet, was wegen der Gleichheit des Wasserdruckes auf beiden Seiten der Thore nun ohne alle Mühe geschehen kann.

74 **Gewichtsverlust eines Körpers in der Luft.** Da alle Körper unter den gewöhnlichen Umständen von der atmosphärischen Luft umgeben sind, und diese von allen Seiten auf ihre Oberfläche einen Druck ausübt, so befinden sie sich in ähnlichen Verhältnissen wie ein Körper, der in einer Flüssigkeit ganz untergetaucht ist. Wir können daher die Schlüsse des §. 57 unmittelbar auch auf die luftförmigen Körper übertragen und gelangen so zu dem Satze, dass ein Körper in der Luft so viel an seinem Gewichte verliert, als die von ihm verdrängte Luft wiegt. Dieser Gewichtsverlust der Körper in der Luft lässt sich leicht auf folgende Weise nachweisen. An das eine Ende eines kleinen Wagbalkens, Fig. 95, hängt man eine hohle Kugel von Messing oder Glas und bringt dieselbe am anderen Ende des Wagbalkens durch ein kleines Gegengewicht von Messing oder Blei ins Gleichgewicht, so dass in der atmosphärischen Luft der Wagbalken horizontal steht. In dieser Weise bringt man die Wage unter den Recipienten einer Luftpumpe und pumpt die Luft aus. Die Wage bleibt dann nicht mehr im Gleichgewicht, der Wagebalken neigt sich und die grosse hohle Kugel sinkt herab. Es geht aus diesem Versuche zunächst hervor, dass die grosse Kugel wirklich schwerer ist, als das auf der anderen Seite befindliche kleine Bleigewichtchen, da jetzt, wo ausser der Schwere keine andere Kraft mehr auf beide wirkt, die Wirkung der Schwere auf die grössere Kugel grösser ist, als auf das kleinere Gegengewicht. Die Ursache, warum gleichwohl in der atmosphärischen Luft die beiden Körper sich das Gleichgewicht hielten, kann also nur darin liegen, dass der Auftrieb der Luft gegen die Kugel grösser war, als gegen das Bleigewichtchen, was davon herrührt, dass die grössere Kugel mehr Luft verdrängt, als das Bleigewicht. Um zu zeigen, dass wirklich der Auftrieb der Luft es ist, der das Gewicht der Kugel wegen ihres grösseren Volumens mehr vermindert, als das des kleinen Bleigewichtes, lässt man die Luft durch Umdrehung des unterhalb des Tellers befindlichen Hahns in den Recipienten wieder einströmen; sofort vermindert sich das Gewicht der beiden Körper und am meisten das der grösseren Kugel, was

Fig. 95.



man daran erkennt, dass sich das Gleichgewicht der Wage vollständig wieder herstellt.

Mit diesem Versuche ist jedenfalls nachgewiesen, dass ein Körper im lufterfüllten Raume um so mehr an Gewicht verliert, je grösser sein Volumen ist und je mehr Luft er demgemäss verdrängt. Um zu zeigen, dass der Gewichtsverlust gerade gleich dem Gewichte der verdrängten Luft ist, muss man vorher das Volumen der grösseren Kugel bestimmen, was durch Ermittelung ihres Gewichtsverlustes im Wasser nach §. 64, Nr. 6 leicht geschehen kann. Da man nun weiss, dass ein Kubikfuss atmosphärische Luft bei 0^0 und 28 pariser Zoll Barometerstand 2,4 Loth wiegt, so kann man leicht berechnen, wie schwer die Luft ist, welche von der grösseren Kugel verdrängt wird. Legt man dieses Gewicht noch zu dem Bleigewichtchen, welches in der Luft für sich allein der Kugel das Gleichgewicht hält, so wird in dem lufterfüllten Raume zwar kein Gleichgewicht stattfinden, vielmehr wird die grössere Kugel in die Höhe steigen, pumpt man aber dann die Luft aus dem Recipienten aus, so wird sich das Gleichgewicht um so vollständiger herstellen, je weniger Volumen das kleine Bleigewicht hat. Man müsste nämlich eigentlich auch auf das Volumen des Bleistückes und dessen Gewichtsverlust, sowie auf den Gewichtsverlust des hinzugefügten Gewichtes Rücksicht nehmen, da jedoch die Volumina dieser beiden Körper im Verhältnisse zu dem Volumen der hohlen Kugel sehr klein sind, so kann man sie ohne bemerklichen Fehler vernachlässigen. Hieraus folgt also, dass der Gewichtsverlust der hohlen Kugel wirklich gleich dem Gewichte der verdrängten Luft ist.

Ein jeder Körper, dessen Volumen 1 Kubikfuss beträgt, ist also im lufterfüllten Raume nahe 2,4 Loth leichter, als im luftleeren; will man daher das Gewicht eines Körpers mit der grössten Genauigkeit bestimmen, so muss man auf die Gewichtsverluste, welche die Gewichtsstücke und der abzuwiegende Körper im lufterfüllten Raume erleiden, Rücksicht nehmen; in den meisten Fällen kann man jedoch die Differenz zwischen den Gewichten des Körpers in dem lufterfüllten und luftleeren Raume ganz vernachlässigen.

Der Luftballon. Da das Archimedische Princip für die 75
luftförmigen Körper gilt, so kann man auf sie alles das anwenden, was in dieser Beziehung in den §§. 57 bis 61 von

den Flüssigkeiten gesagt worden ist. Ein jeder Körper erleidet demgemäss in der Luft einen Auftrieb, der gleich dem Gewichte der aus der Stelle verdrängten Luft ist; ist er schwerer, als ein gleich grosses Volumen Luft, so fällt er in derselben herab, weil sein Gewicht grösser ist, als der Auftrieb; ist er ebenso schwer, als ein gleiches Volumen Luft, so schwebt er, ohne zu fallen oder zu steigen, da der Auftrieb gleich dem Gewichte ist. Letzteres ist der Fall mit den Wolken, die in der Luft schweben und von dem Auftrieb derselben getragen werden; würde die Luft für einen Augenblick vernichtet, so müssten die Wolken mit derselben Geschwindigkeit zu Boden fallen, wie ein Stein oder eine Bleikugel. Ist endlich das Gewicht eines Körpers kleiner, als das Gewicht eines gleichen Volumens Luft, so ist der Auftrieb überwiegend und der Körper steigt in der Atmosphäre in die Höhe, wie ein Stück Kork, das man ins Wasser geworfen hat, darin bis an die Oberfläche in die Höhe steigt. Die Kraft, mit welcher ein solcher Körper aufsteigt, ist offenbar gleich dem Ueberschusse des Gewichtes der verdrängten Luft über das eigene Gewicht des Körpers. Aus diesem Grunde sehen wir den Rauch in die Höhe steigen, weil er zum grössten Theile aus Gasen besteht, die durch die Wärme ausgedehnt und daher leichter geworden sind, als die umgebende Luft.

Montgolfier, Papierfabrikant in Annonay (Frankreich), war der Erste, der den Auftrieb der Luft dazu benutzte, um selbst schwere Körper in der atmosphärischen Luft in die Höhe steigen zu lassen. Er verfertigte einen grossen Ballon aus Leinwand, der mit Papier überzogen wurde und nur an seinem unteren Ende offen war. An dieser offenen Stelle wurde ein Strohfeuer angezündet, dessen heisse Gase nebst der erhitzten Luft in den Ballon drangen und die kältere atmosphärische Luft daraus vertrieben. Nachdem das Feuer eine kurze Zeit lang unterhalten worden war, stieg der Ballon in die Höhe und kam nach einiger Zeit wieder zurück. Der erste Versuch, den Montgolfier öffentlich anstellte, geschah am 5. Juni 1783 zu Annonay.

Wenn das Gewicht des Montgolfier'schen Luftballons einschliesslich des Gewichtes der darin enthaltenen heissen Luft bedeutend kleiner ist, als das Gewicht der verdrängten atmosphärischen Luft, so können damit schwerere Körper, selbst mehrere Menschen in die Höhe steigen. Kurz nach der Er-

findung kamen die Gebrüder Montgolfier nach Paris und liessen ihre Aerostaten (so werden die Luftballons ebenfalls genannt) steigen; bis dahin waren jedoch noch nicht Menschen, höchstens Thiere mit aufgestiegen. Pilâtre de Roziers und der Marquis d'Arlandes waren die Ersten, welche am 21. November 1783 in der Nähe von Paris die Luftfahrt wagten. Ihre Montgolfière, Fig. 96, war prächtig ausgeschmückt und

Fig. 96.



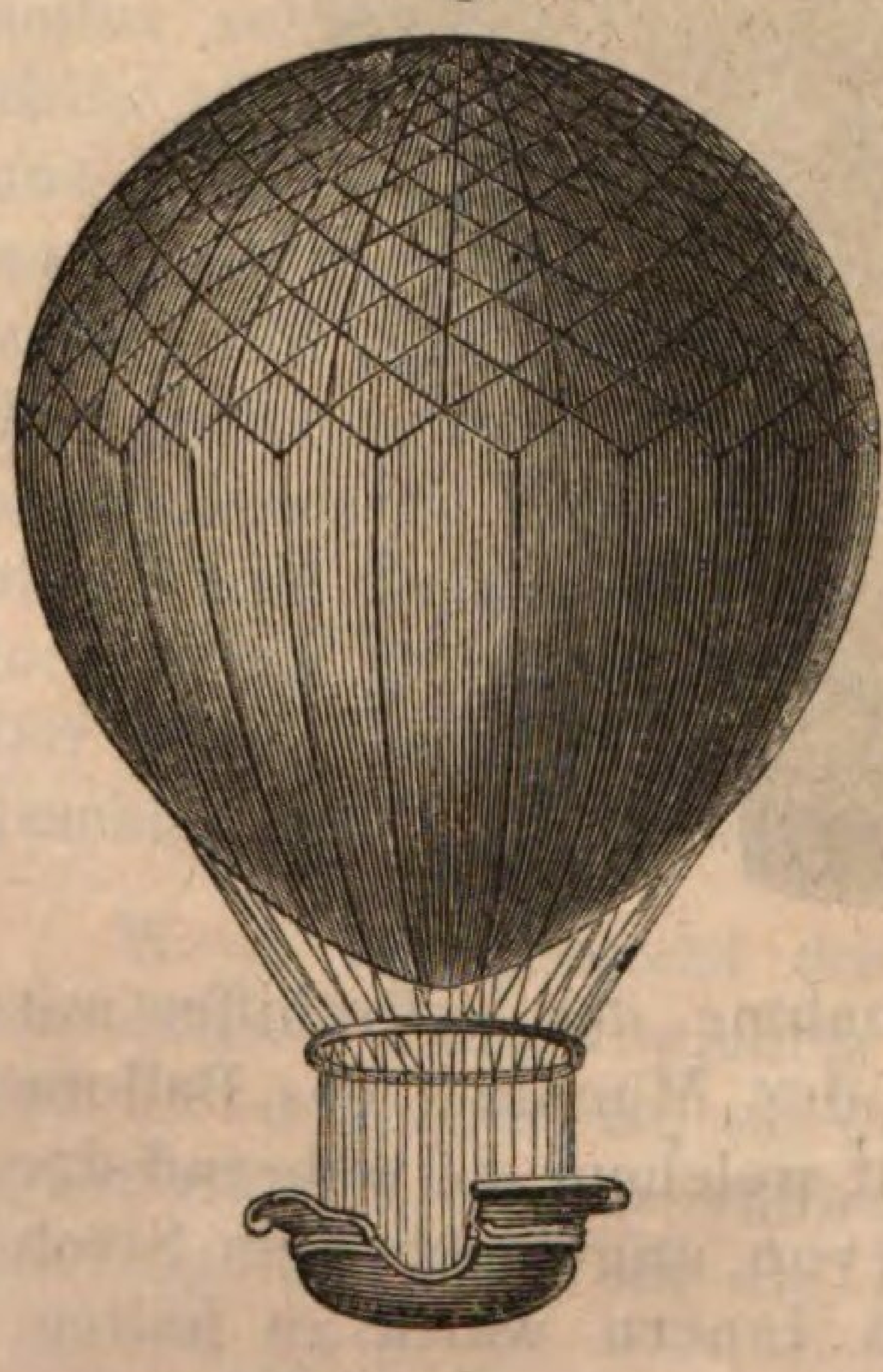
an ihrem unteren Theile zur Aufnahme der Luftschiffer mit einer Galerie versehen. Unterhalb der Mündung des Ballons war ein Feuerbecken angebracht, auf welchem sie während der Fahrt beständig ein leichtes Feuer von angefeuchtetem Stroh unterhielten, um damit die Luft im Innern warm zu halten.

76 Anstatt den Ballon mit Rauch oder erwärmter Luft zu füllen, kann dieses auch mit jedem anderen Gase geschehen, welches leichter ist, als atmosphärische Luft. Professor Charles in Paris machte in dieser Weise den ersten öffentlichen Versuch auf dem Marsfelde zu Paris, am 27. August 1783, und am 1. December desselben Jahres stieg er selbst in Begleitung des Mechanikers Robert in dem Garten der Tuillerien auf. Sein Ballon war mit Wasserstoffgas gefüllt, und seitdem nennt man im Gegensatze zu den mit warmer Luft gefüllten Montgolfièren die mit Wasserstoff gefüllten Aerostaten Charlièren.

Der Vorzug der letzteren Art von Luftballons vor den Montgolfièren liegt auf der Hand. Einmal ist das Wasserstoffgas viel leichter als die warme Luft, seine Steigkraft also an und für sich grösser; dann aber, was für die Sicherheit der Luftschiffer von der grössten Wichtigkeit ist, fällt bei der Anwendung dieses Gases der Heizapparat ganz weg, und endlich hat man nicht nöthig, eine Menge von brennbaren Materialien, womit bei der Montgolfière das Feuer unter dem Ballon unterhalten werden muss, mitzunehmen; das Gewicht der Charlière ist daher bei gleichen Dimensionen weit kleiner, ihre Steigkraft also weit grösser, als bei der Montgolfière.

Wenn in einem mit Gas gefüllten Luftballon Menschen aufsteigen sollen, so wird derselbe mit einem aus starken Schnüren geflochtenen Netze derart umgeben, dass, wie Fig. 97 zeigt, der untere Theil davon frei bleibt, und die einzelnen Schnüre in paralleler Richtung sich unterhalb des Ballons verlängern, um an ihrem Ende ein kleines zur Aufnahme der Reisenden dienendes Schiffchen (die Gondel) zu tragen. Die Hülle des Ballons wird aus langen Streifen Seidenzeug zusammengenäht und dann mit einer Auflösung von Kautschuk oder eines anderen geeigneten Harzes gefirnisst, um ihn für das Gas undurchdringlich zu machen.

Fig. 97.



Gegenwärtig werden die Luftballons nach Green's Vorgange mit dem gewöhnlichen, den Gasfabriken entnommenen Leuchtgase gefüllt; dieses Gasgemenge ist zwar bei weitem nicht so leicht, als das reine Wasserstoffgas, denn es ist nur halb so schwer als die atmosphärische Luft, aber es ist weit leichter und billiger zu erhalten, als das Wasserstoffgas.

Vor der Auffahrt unter dem gewöhnlichen Luftdruck den Ballon vollständig mit dem leichteren Gase zu füllen und dann denselben zu verschliessen, um das Entweichen des Gases zu verhindern, würde sehr gefährlich sein. In dem Maasse nämlich, wie der Ballon höher steigt, kommt er in Schichten, wo der Luftdruck immer geringer wird. Während also der äussere Druck gegen seine Hülle immer mehr abnimmt, bleibt die Expansivkraft des eingeschlossenen Gases und der innere Druck desselben gegen die Hülle unverändert, so dass der Druck auf beiden Seiten der Hülle nicht mehr, wie vor der Auffahrt, gleich gross ist, vielmehr der innere Druck nach Umständen stark überwiegt. Die Hülle erleidet dann einen starken einseitigen Druck, der sie anfangs straff anspannt, dann aber leicht ein Zerreissen derselben und ein plötzliches Entweichen des Gases zur Folge haben kann.

Um diesem vorzubeugen, giebt es zwei Mittel. Das erste besteht darin, vor der Abfahrt den Ballon nicht ganz mit Gas anzufüllen. Wenn er dann später in die höheren Regionen kommt, wo der äussere Luftdruck geringer wird, so kann das Gas im Innern des Ballons sich ausdehnen, ohne dass die Hülle dadurch in Gefahr kommt. Das zweite Mittel, welches man jetzt allgemein anwendet, besteht darin, dass man den Ballon nach geschehener Füllung nicht luftdicht abschliesst, sondern am unteren Ende, wo das Gas eingeführt worden ist, ihn theilweise offen und damit eine Verbindung des eingeschlossenen Gases mit der atmosphärischen Luft bestehen lässt; das Gas kann dann, wenn der äussere Luftdruck abgenommen hat, sich ausdehnen und an dem offenen Ende, so viel als es nöthig ist, entweichen. Ausserdem aber befindet sich am oberen Theile des Ballons ein Klappenventil, welches sich nach Innen öffnet, aber für gewöhnlich durch den Druck des Gases und einer Feder verschlossen bleibt. Von dieser Klappe geht eine Schnur durch das Innere des Ballons bis zu der Gondel herab, und der Luftschiffer kann nach Belieben die Klappe öffnen oder schliessen. Wenn er befürchtet, dass die Hülle zu

sehr gespannt ist, sei es, dass die untere Oeffnung entweder vor der Auffahrt verschlossen worden ist oder überhaupt nicht genug Gas entweichen lässt, so zieht er an der Schnur und öffnet die Klappe so lange, bis eine hinlängliche Menge Gas entwichen und damit das Gleichgewicht zwischen dem inneren und dem äusseren Druck wieder hergestellt ist.

Die Steigkraft eines ganz gefüllten Ballons nimmt in dem Maasse ab, wie er höher kommt, weil die Luft, welche er aus der Stelle verdrängt, immer weniger wiegt, folglich der Auftrieb selbst immer kleiner wird. Zwar wird in der Regel ein Theil des Gases durch die untere Oeffnung oder durch das obere Ventil entweichen und damit der Ballon selbst leichter werden; aber dieser Gewichtsverlust compensirt keineswegs die Verminderung des Auftriebs oder der umgebenden Luft. Auf diese Weise erreicht der Ballon bald den Punkt, wo seine Steigkraft Null ist und er in der Luftschicht, in der er sich befindet, schweben bleibt; der Auftrieb der Luft ist dann gleich dem Gewichte des Ballons, und letzterer kann sich nur in Folge der gerade herrschenden Luftströme in horizontaler Richtung weiterbewegen. Um nun höher zu steigen, erleichtert der Luftschiffer die Gondel durch Auswerfen von Ballast. Zu diesem Zwecke hat er mit Sand gefüllte Säcke mitgenommen, die er nun nach Bedarf durch Ausschütten entleert. Will er dagegen wieder zur Erde herabsteigen, so öffnet er auf kurze Zeit das Ventil; das Gas strömt dann aus, der Ballon fällt zusammen und sinkt herab.

77 **Die Grösse der Steigkraft** eines Luftballons ist aus seinen Dimensionen, dem Gewichte der Hülle und dem specifischen Gewicht des angewandten Gases leicht zu berechnen. Das Gewicht eines Kubikfusses Wasserstoffgas von 0° und dem mittleren Barometerstande beträgt, da es 14mal so leicht ist, als atmosphärische Luft, $1/_{14} \times 2{,}4 = 0{,}171$ Loth, während das Gewicht von 1 Kubikfuss Luft 2,4 Loth ist. Die Steigkraft von 1 Kubikfuss Wasserstoffgas ist daher in der Luft $2{,}4 - 0{,}171 = 2{,}229$ Loth. Um nun die Steigkraft eines mit Wasserstoffgas gefüllten Ballons zu erhalten, hat man die in Kubikfuss ausgedrückte Menge des zur Füllung verwandten Wasserstoffs mit 2,229 Loth zu multipliciren und von dem Producte das Gewicht der Hülle, der Schnüre und der Gondel abzuziehen, woraus sich ergiebt, wie viel Gewicht die Gondel noch aufnehmen darf, um eben noch steigen zu können.

Wendet man zur Füllung des Ballons statt des Wasserstoffs das gewöhnliche Leuchtgas an, wie es die Gasfabriken liefern, so ist die Steigkraft desselben weit geringer. Das specifische Gewicht des Leuchtgases ist sehr verschieden, aber im Mittel kann man annehmen, dass sein Gewicht 0,53 eines gleichen Volumens atmosphärischer Luft beträgt. 1 Kubikfuss Leuchtgas wiegt daher unter den gleichen Verhältnissen 1,272 Loth, während das Gewicht von 1 Kubikfuss Luft 2,4 Loth beträgt; die Steigkraft von 1 Kubikfuss Leuchtgas ist daher in der Luft nur 2,4 — 1,272 = 1,128 Loth. Multiplicirt man wieder diese Kraft mit der Anzahl der Kubikfuss Leuchtgas, welche zur Füllung des Ballons verwandt worden sind, und zieht von diesem Producte das Gewicht des Ballons und seines Zubehörs ab, so erhält man das Gewicht, welches der mit Leuchtgas gefüllte Ballon noch zu heben im Stande ist. Man sieht hieraus, dass die Steigkraft von 1 Kubikfuss Leuchtgas beinahe die Hälfte der Steigkraft von 1 Kubikfuss Wasserstoffgas ist.

4. Die Bewegung der Flüssigkeiten und der Gase.

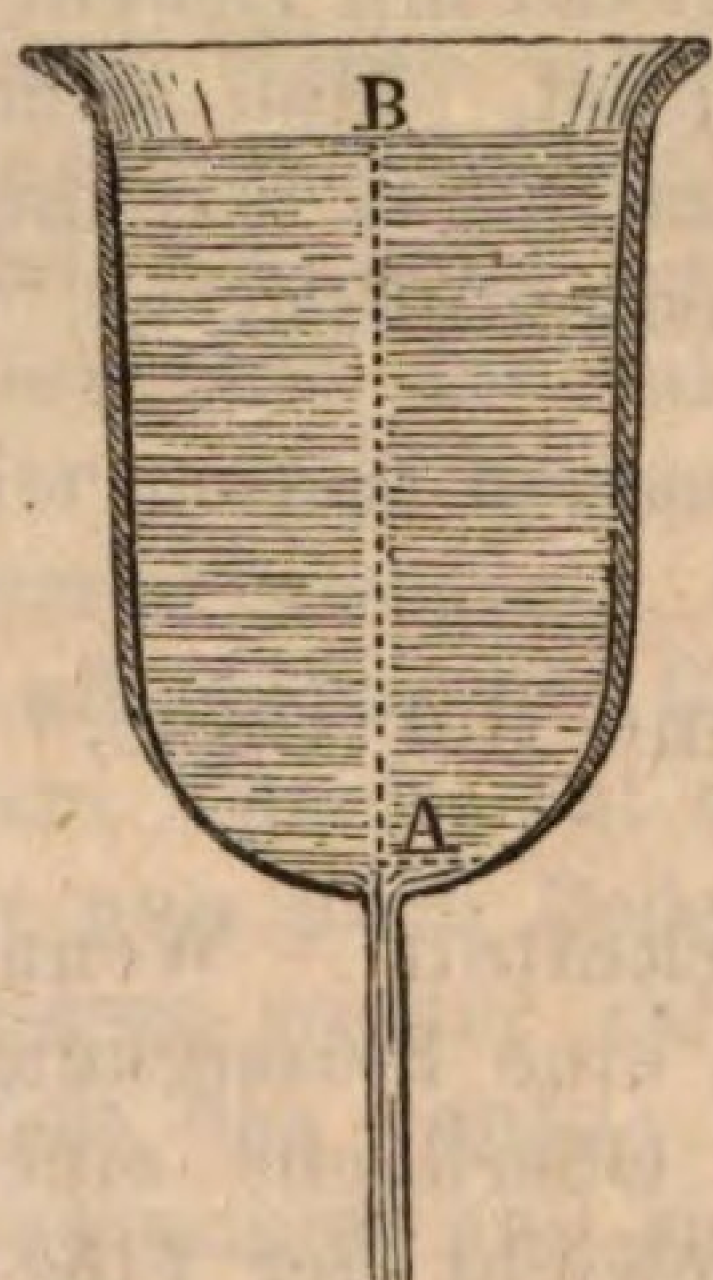
Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeiten. Wenn 78
man in die Wand eines Gefässes, in welchem eine Flüssigkeit im Gleichgewichte ist, unterhalb der freien Oberfläche eine Oeffnung macht, so ist dadurch das Gleichgewicht der Flüssigkeit gestört. Der weggenommene Theil der Wand erhielt nach Maassgabe seines verticalen Abstandes von der Oberfläche der Flüssigkeit einen grösseren Druck von innen nach aussen als umgekehrt, aber die Festigkeit der Wand konnte diesem überwiegenden Druck Widerstand leisten und die Bewegung der Flüssigkeit verhindern; mit der Entfernung dieses Wandtheiles hört auch dieser Widerstand auf, und die durch keine entgegenwirkende Kraft mehr gehinderte Flüssigkeit fliesst aus der Oeffnung des Gefässes aus.

In dem ersten Beginnen des Ausflusses passiren die Flüssigkeitstheilchen, welche bis dahin in Ruhe waren, die Ausflussöffnung mit einer sehr kleinen Geschwindigkeit; diese Geschwindigkeit nimmt aber rasch zu und erreicht nach sehr kurzer Zeit eine gewisse Grösse, die nicht mehr überschritten wird. Von hier an wird der Ausfluss der Flüssigkeit regelmässig; die in dem Gefässe enthaltenen Flüssigkeitstheilchen

gerathen alle in Bewegung, um sich der Oeffnung zu nähern; ein jedes von ihnen verfolgt einen besonderen Weg und erlangt eine immer grösser werdende Geschwindigkeit, bis es an der Ausflussöffnung angekommen ist. Fasst man die Gesammtheit derjenigen Theilchen zusammen, welche nach einander einen und denselben Weg durchlaufen, so bilden sie einen sogenannten Flüssigkeitsfaden.

Die Theorie und die Erfahrung lehren, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Flüssigkeit durch die Ausflussöffnung hindurchgeht, sobald der Ausfluss regelmässig geworden ist, von der Richtung der die Oeffnung enthaltenden Gefässwand unabhängig ist. Ob der Ausfluss von oben nach unten, Fig. 98,

Fig. 98.



oder umgekehrt von unten nach oben, Fig. 99, oder zur Seite, wie in Fig. 100, erfolgt, die Ausflussgeschwindigkeit ist in allen Fällen dieselbe, wenn der verticale Abstand AB des Niveaus der Flüssigkeit von der Oeffnung A der Wand derselbe ist. Ausserdem ist leicht einzusehen, dass, wenn der Wasserspiegel stets auf gleicher Höhe erhalten wird und demnach auch die Höhe des Wasserstandes $BA = h$ dieselbe bleibt, jedes Wassertheilchen, also auch der ganze Inhalt des Gefässes, als ein freifallender Körper betrachtet werden muss, welcher im Gefässe die Höhe $AB = h$ durchfällt. Es ist dabei nur vorauszusetzen, dass die Flüssigkeit einen ungehinderten Durchgang durch die Oeffnung A hat und keine Adhäsion derselben an den Wänden des Gefässes stattfindet, so dass jedes Flüssigsigkeitstheilchen der Wirkung der Schwerkraft frei folgen kann.

Bezeichnet man die der durchlaufenen Fallhöhe $AB = h$ (in Fuss ausgedrückt) entsprechende Geschwindigkeit des Ausflusses mit v, so ist nach I. §. 105:

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Diese Formel giebt die Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeit in Fuss, sie lehrt also, wie viel Fuss jedes Flüssigkeitstheilchen in einer Secunde durchlaufen würde, wenn es nach seinem Austritt aus der Ausflussöffnung fortfahren würde, sich gleichförmig zu bewegen. Wir haben bereits früher I. §. 106 die Zahlenwerthe für diese Geschwindigkeit zusammen-

gestellt, welche sich für eine grosse Anzahl von Werthen der Druckhöhe h aus dieser Formel ergeben.

Experimentaler Nachweis für die Richtigkeit der vorigen Formel. 79
Dass die Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit wirklich diejenige ist, welche die Formel des vorigen Paragraphen angiebt, lässt sich leicht durch den Versuch nachweisen. Wenn der Ausfluss, wie in der Fig. 99, von unten nach oben stattfindet, so findet man, dass der Flüssigkeitsstrahl beinahe bis zum Niveau im Gefässe in die Höhe steigt. Dieses setzt jedoch nach den aus I. §. 110 bekannten Fallgesetzen voraus, dass die Flüssigkeitstheilchen, welche aus der Oeffnung austreten, eine der Druckhöhe entsprechende Geschwindigkeit besitzen. Um den Versuch möglichst vollständig anzustellen, ist es gut, den Flüssigkeitstrahl in einer etwas geneigten Richtung aufsteigen zu lassen, weil sonst die bereits aufgestiegenen und wieder herunterfallenden Flüssigkeitstheilchen dem nachfolgenden Strahle begegnen, auf diesen fallen

Fig. 99.

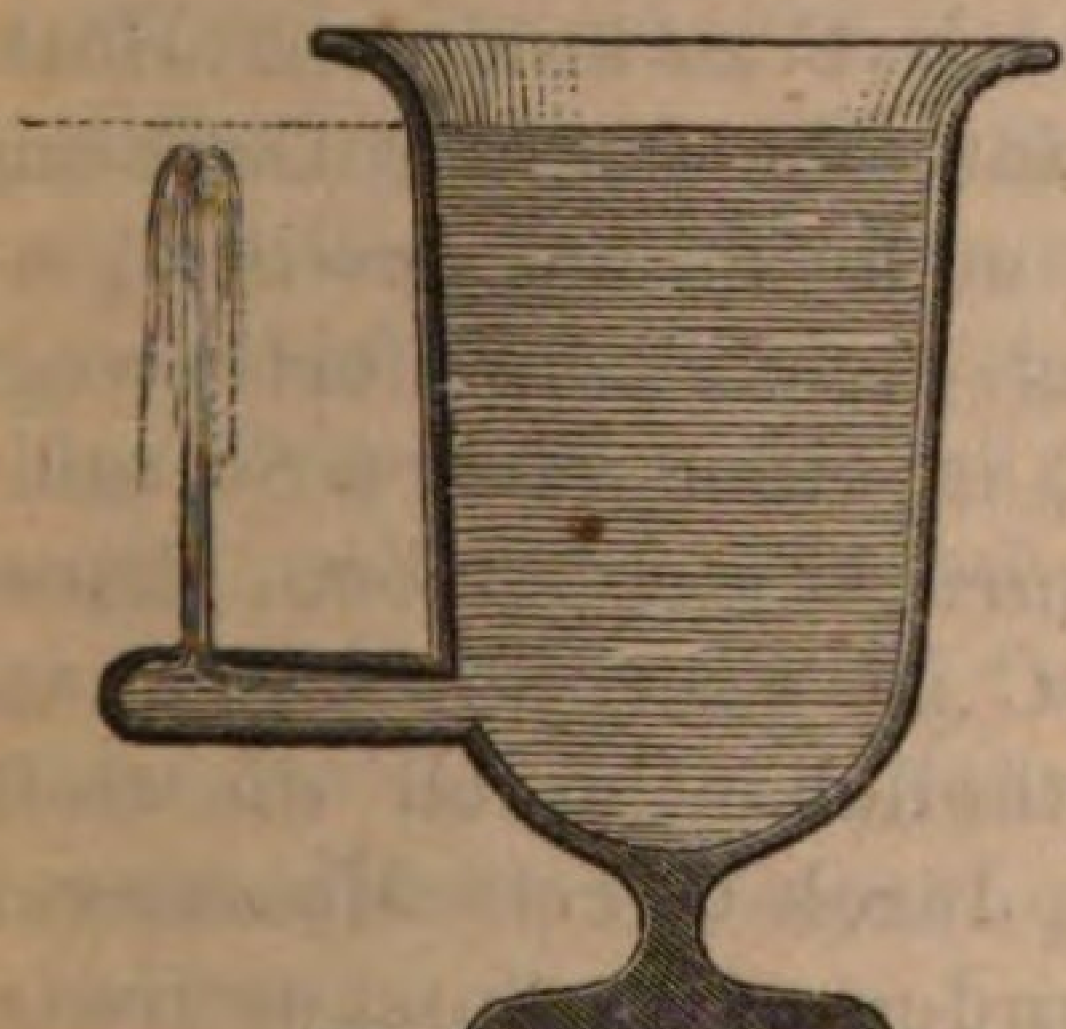
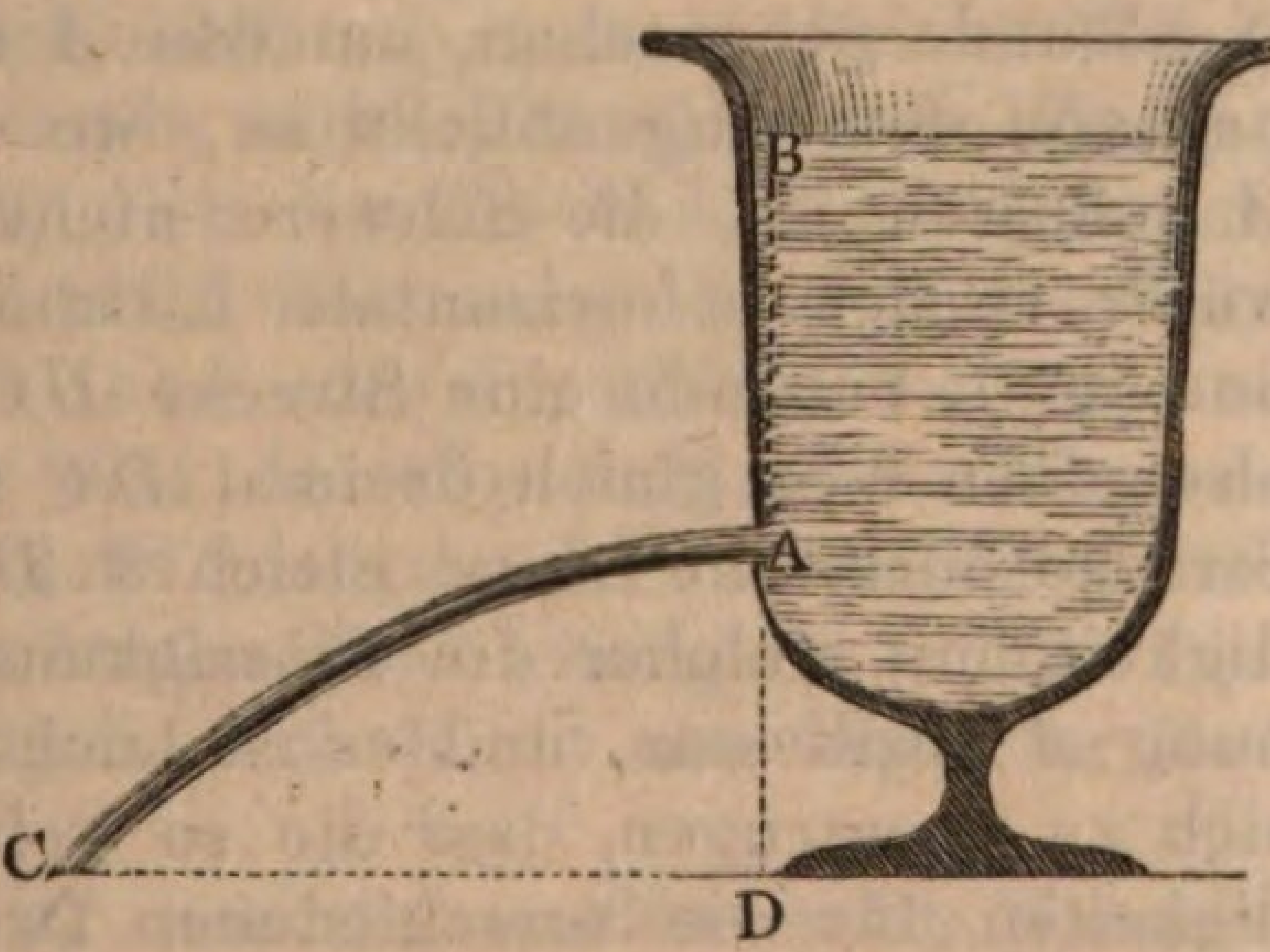


Fig. 100.



und so seine Geschwindigkeit stark verringern. Giebt man dem Strahle eine etwas schiefe Richtung, so wird zwar die Höhe, zu welcher jedes Flüssigkeitstheilchen vermöge der erlangten Ausflussgeschwindigkeit sich erheben könnte, etwas verkleinert, aber dieser Uebelstand wird mehr als hinreichend durch den Vortheil aufgewogen, dass nun ein jedes Theilchen eine steile Parabel beschreibt, daher die herabfallenden Theilchen den nachfolgenden aufwärts steigenden nicht mehr hindernd in den Weg treten.

Wenn dagegen aus einer verticalen Wand ein seitlicher Ausfluss stattfindet, Fig. 100, so nimmt der ausströmende Flüssigkeitsstrahl die Form einer Parabel an, deren Krümmung

ganz dieselbe ist, wie die der Bahn eines jeden schweren Körpers, welcher in horizontaler Richtung mit einer Geschwindigkeit abgeworfen wird, die der Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeit gleich kommt. Die Form dieses parabolischen Strahls kann daher auch dazu dienen, die Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeit zu bestimmen und die Richtigkeit der obigen Formel zu bestätigen. Zu diesem Zwecke messe man den horizontalen Abstand CD eines Punktes C des parabolischen Strahls von der Verticalen AD, welche durch die Ausflussöffnung A gezogen ist, so wie die Höhe AD selbst über dem horizontalen Abstand CD. Die Zeit, welche ein Flüssigkeitstheilchen gebraucht, um von A nach C zu kommen, ist genau dieselbe, welche es gebrauchen würde, um durch die Höhe AD vertical zu fallen (I. §. 130). Ist z. B. $AD = \frac{1}{2} g = 15\frac{5}{8}$ Fuss, so beträgt diese Zeit 1 Secunde (I. §. 136); sie ist $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... Secunde, wenn AD gleich $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$ oder $\frac{1}{16}$. . . von $15\frac{5}{8}$ Fuss genommen wird (I. §. 103). Nehmen wir nun an, der Punkt C werde in dem Wasserstrahle so gewählt, dass AD gleich $\frac{1}{9}$ von $15\frac{5}{8}$ Fuss oder $20\frac{5}{6}$ Zoll ist, so wird ein Wassertheilchen $\frac{1}{3}$ Secunde gebrauchen, um von A nach C zu kommen. Hätte nun von dem Augenblicke an, wo dasselbe aus der Oeffnung A geflossen ist, die Schwere nicht mehr darauf gewirkt, so würde es sich in horizontaler Richtung gleichförmig fortbewegt und in $\frac{1}{3}$ Secunde eine Strecke DC, in einer ganzen Secunde also einen Weg gleich dreimal DC zurückgelegt haben. Diese Strecke oder eine Länge gleich $3 . DC$ ist daher die Geschwindigkeit, mit welcher die Flüssigkeitstheilchen durch die Oeffnung A ausfliessen, und es ist leicht, durch directe Messungen sich zu überzeugen, dass die so gefundenen Ausflussgeschwindigkeiten für die verschiedenen Druckhöhen mit den aus der obigen Formel $v = \sqrt{2gh}$ berechneten Werthen sehr nahe übereinstimmen.

Dass der horizontal bei A ausfliessende Wasserstrahl in der That die dem Gesetze entsprechende Parabel beschreibt, sieht man am besten, wenn man diese Parabel, wie sie der berechneten Ausflussgeschwindigkeit entspricht, auf einem Blatt Papier construirt und sie dann dicht hinter dem ausfliessenden Strahl hält.

80 **Die Ausflussmenge.** Die Flüssigkeitsmenge, welche in einer Secunde aus der Gefässöffnung ausfliesst oder die sogenannte Ausflussmenge hängt von der Grösse der Oeffnung und

der Ausflussgeschwindigkeit ab. Wenn alle Wassertheilchen ungehindert und in geraden parallelen Fäden ausfliessen und demnach die Oeffnung mit einer Geschwindigkeit passiren würden, welche der Druckhöhe entspricht, so ist klar, dass in jeder Secunde eine Wassersäule ausfliessen müsste, welche die Oeffnung zur Basis und diese Ausflussgeschwindigkeit zur Höhe hat. Bezeichnen wir daher den Querschnitt oder die Grösse der Ausflussöffnung mit F, und die der Druckhöhe h entsprechende Ausflussgeschwindigkeit wie oben mit v, so wäre die secundliche Ausflussmenge

$$F \,.\, v = F \,.\, \sqrt{2\,gh}.$$

Wenn z. B. die Ausflussöffnung ein Kreis von 2‴ Durchmesser ist, so ist der Flächeninhalt desselben

$$F = 3{,}14 \,\square''' = 0{,}0216 \,\square''.$$

Ist ferner die Druckhöhe $h = 4''$, so ist die dieser Fallhöhe entsprechende Geschwindigkeit 54,8″; daher wäre unter obiger Voraussetzung die secundliche Ausflussmenge

$$F \,.\, v = 0{,}0216 \times 54{,}8 = 1{,}183 \text{ Kubikzoll.}$$

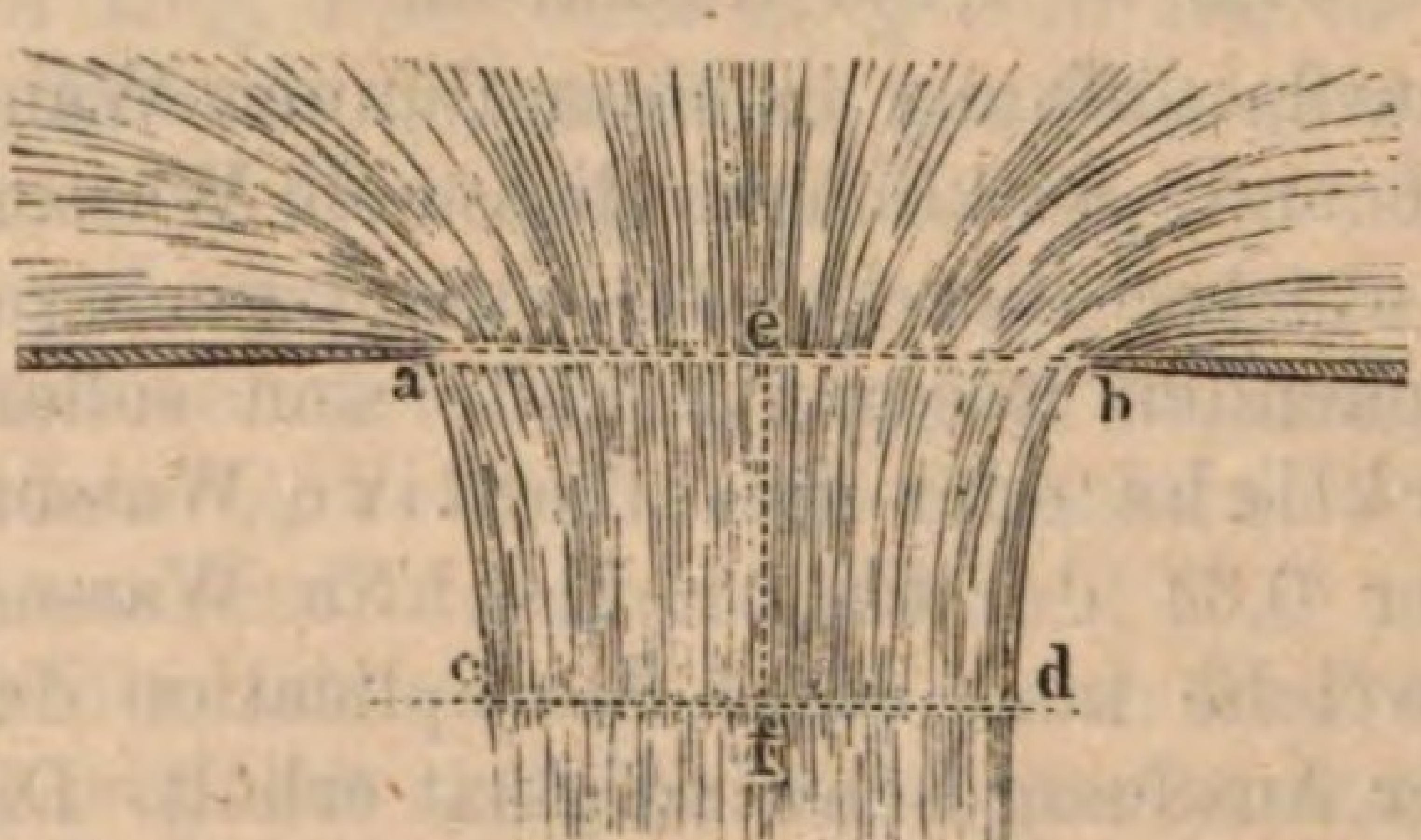
Wenn man aber die Ausflussöffnung in einer dünnen Wand anbringt und die in einer Secunde wirklich ausfliessende Wassermenge misst, so findet man, dass dieselbe bedeutend geringer ist, als sie nach der vorstehenden Rechnung hätte sein sollen. In der That beträgt die wirkliche oder die effective Wassermenge nur 64 Procent oder 0,64 der theoretischen Wassermenge, d. h. derjenigen, welche man durch Multiplication der Grösse der Oeffnung und der Ausflussgeschwindigkeit erhält. Die Ursache dieser Differenz ergiebt sich leicht aus folgender Betrachtung.

Wir haben angenommen, dass alle ausfliessenden Wassertheilchen mit derselben Geschwindigkeit die Gefässöffnung passiren und daher die in der Secunde ausfliessende Wassermenge eine Säule bilde, welche die Fläche der Oeffnung zur Basis und die Ausflussgeschwindigkeit zur Höhe hat. Allein diese Annahme ist nicht richtig, weil die einzelnen Wassertheile nicht in paralleler Richtung ausfliessen, sondern, da das Wasser auch von der Seite her zum Ausflusse kommen will und gegen die Oeffnung hin drängt, in convergirenden Richtungen nach der Oeffnung hineilen. Dort angekommen, verschwindet diese Convergenz nicht plötzlich, sondern erhält sich noch bis zu einer gewissen Gränze darüber hinaus. Der ausfliessende Wasserstrahl hat daher an seinem Ursprunge nicht die Gestalt eines Prismas,

oder, wenn die Oeffnung ein Kreis ist, eines Cylinders, sondern er erleidet zuerst eine Zusammenziehung oder eine Contraction und nimmt erst in einiger Entfernung von der Oeffnung allmälig die Gestalt eines Cylinders an. Wenn wir daher die wahre secundliche Ausflussmenge erhalten wollen, dürfen wir dieselbe nicht als einen Cylinder betrachten, der den Querschnitt der Ausflussöffnung zur Basis hat, sondern als einen Cylinder, dessen Basis der viel kleinere Querschnitt der Contractionsstelle ist. Hieraus ist ersichtlich, dass die effective Wassermenge viel kleiner ist, als die theoretische oder diejenige, welche man erhält, wenn man als Basis des gedachten Cylinders den Querschnitt der Ausflussöffnung selbst nimmt.

Aus vielen angestellten Messungen an solchen Flüssigkeitsstrahlen, welche aus kreisförmigen in dünnen Wänden angebrachten Oeffnungen ausfliessen, haben sich bezüglich der Grösse und der Stelle der Contraction folgende Resultate ergeben. Wenn der Durchmesser *ab* der Oeffnung, Fig. 101, in zehn gleiche Theile getheilt wird, so kommen auf den Durchmesser *cd* des Contractionsquerschnittes acht und auf die Entfernung *ef* dieses Querschnittes von der Oeffnung fünf solcher Theile. Der Durchmesser des contrahirten Wasserstrahls ist daher an der Contractionsstelle nur 0,8 vom Durchmesser der Ausflussöffnung, und der Querschnitt des Contractionsstrahles nur $(0,8)^2$ oder 0,64 vom Querschnitt der Oeffnung. Um daher aus der oben aufgestellten Formel die wirkliche Ausflussmenge zu erhalten, muss man statt des darin vorkommenden Querschnittes F der Ausflussöffnung den Querschnitt 0,64 . F des Contractionsstrahls setzen. Behält daher F seine frühere Bedeutung bei, so ist die effective Ausflussmenge M aus einer dünnen Wand pro Secunde

Fig. 101.



$$M = 0,64 \,.\, F \,.\, \sqrt{2gh}.$$

Berechnet man nach dieser Formel die Ausflussmenge einer Flüssigkeit, so stimmt sie mit derjenigen sehr nahe überein, welche die directe Messung ergiebt. Worin die noch übrig bleibende kleine Differenz zwischen 0,64 und der richtigeren Zahl

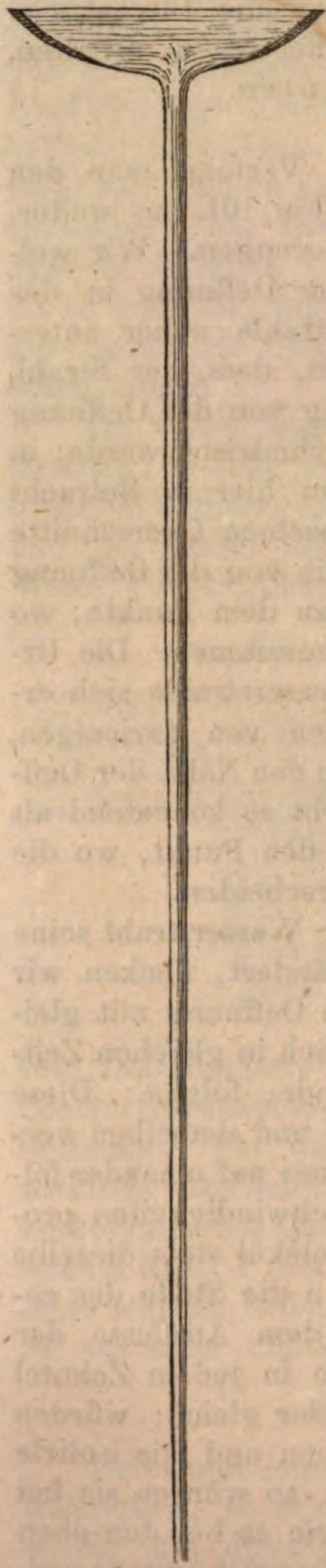
0,62 herrührt, werden wir weiter unten §. 85 sehen. Den Bruch 0,64, welcher das Verhältniss des Contractionsquerschnittes zum Oeffnungsquerschnitt angiebt, mit welchem man die theoretische Ausflussmenge multipliciren muss, um die effective zu erhalten, nennt man den Contractions-Coefficienten.

Form des ausfliessenden Strahles. Verfolgt man den 81
Wasserstrahl von der Contractionsstelle *cd*, Fig. 101, aus weiter, so beobachtet man daran auffallende Veränderungen. Wir wollen dieselben an einem verticalen, aus einer Oeffnung in der unteren Gefässwand ausfliessenden Wasserstrahle näher untersuchen. Es ist oben bereits gesagt worden, dass der Strahl, nachdem er bis zu einer geringen Entfernung von der Oeffnung sich ziemlich stark zusammengezogen hat, cylindrisch werde; in der Wirklichkeit ist dieses jedoch bei dem hier in Betracht kommenden Strahle nicht der Fall. Die einzelnen Querschnitte desselben werden immer kleiner, je weiter sie von der Oeffnung entfernt sind, und der Strahl zieht sich bis zu dem Punkte, wo er sich in Tropfen zertheilt, immer mehr zusammen. Die Ursache dieser über die ganze Länge des Wasserstrahls sich erstreckenden Contraction ist sehr verschieden von derjenigen, welche die Zusammenziehung des Strahles in der Nähe der Oeffnung bewirkt; auch ist diese Contraction nicht so bedeutend als diese, und man kann auf den ersten Blick den Punkt, wo die eine aufhört und die andere anfängt, unterscheiden.

Um zu erklären, in welcher Weise der Wasserstrahl seine Gestalt von einem Punkte zum andern verändert, denken wir uns, dass einzelne Moleküle nacheinander die Oeffnung mit gleicher Geschwindigkeit passiren, und dass sie sich in gleichen Zeitabschnitten, z. B. in Zehnteln einer Secunde, folgen. Diese Moleküle bewegen sich sämmtlich in einer und derselben verticalen Linie, und der Abstand zwischen je zwei auf einander folgenden wird immer grösser, weil ihre Geschwindigkeiten proportional zu der Zeit wachsen und jedes Molekül stets dieselbe Zeit, ein Zehntel Secunde, gebraucht, um an die Stelle des zunächst vorangehenden zu gelangen. Bei dem Ausflusse der Flüssigkeit sind die Wassermengen, welche in jedem Zehntel der Secunde die Oeffnungen passiren, einander gleich; würden sich diese Wassermengen von einander trennen und wie isolirte Tropfen durch die Oeffnung hindurchgehen, so würden sie bei ihrem verticalen Falle in derselben Weise, wie es bei den eben erwähnten isolirten Molekülen geschehen muss, sich immer wei-

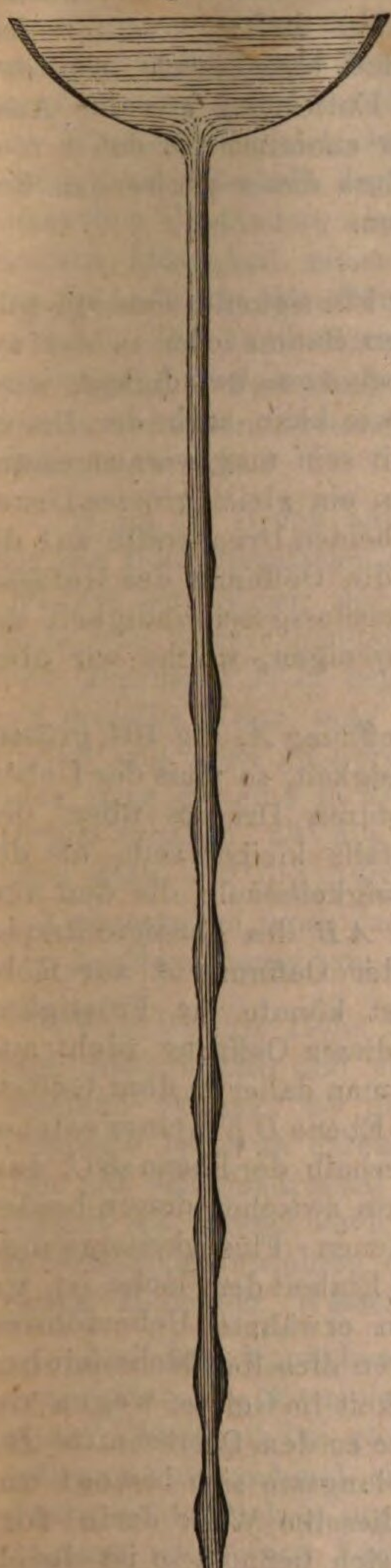
ter von einander entfernen. Die in jedem Zehntel der Secunde nach einander aus der Oeffnung ausfliessenden Wassermengen trennen sich aber nicht, sondern bleiben zusammenhängend und bilden so einen ununterbrochenen Strahl. Da jedoch ihr gegenseitiger Abstand immer grösser werden würde, wenn sie von einander unabhängig wären, so können sie nur dann ihren Zusammenhang erhalten, wenn sie sich in dem Maasse, wie sie sich von der Oeffnung entfernen, immer mehr in die Länge ziehen. In Folge dieser Verlängerung aber, welche ein jeder Theil des ausgeflossenen Wasserstrahls aus dem angegebenen Grunde nothwendig erleiden muss, entsteht dann eine entsprechende Verdünnung desselben und eine allmälige Abnahme des Querschnitts. Die Fig. 102 giebt eine Anschauung eines solchen immer dünner werdenden verticalen Wasserstrahls.

Fig. 102.



Wenn ausser der genannten Ursache keine anderen äusseren Einflüsse auf den verticalen Wasserstrahl einwirkten, so würde sich derselbe bedeutend verlängern und immer feiner werden, bevor er sich in einem grossen Abstande von der Ausflussöffnung in einzelne Tropfen zertheilte. In den meisten Fällen zeigen sich aber auf der Oberfläche eines solchen Strahles ähnliche Wellenbewegungen, wie man sie an still stehenden Wassern wahrnimmt, wenn man einen Stein hineingeworfen hat. Diese Wellen bilden abwechselnd Bäuche und Knoten in dem Strahle, wie die Fig. 103 zeigt; die Bäuche bestehen aus breiten, in horizontaler Richtung ausgedehnten Tropfen, die dazwischen befindlichen Knoten aber aus solchen, welche in verticaler Richtung verlängert sind. Die Wellenbewegungen der Flüssigkeitstheilchen, welche diese Bäuche und Knoten erzeu-

Fig. 103.



gen, machen, dass dieselben um so ausgeprägter werden, je feiner der Wasserstrahl ist, bis der Punkt eintritt, wo in Folge der fortgesetzten Wellenbewegungen die Bäuche sich von den Knoten trennen und zu einzelnen isolirten Tropfen gestalten. Wenn man daher die Ursachen zu jenen Wellenbewegungen der Flüssigkeitstheilchen so viel als möglich beseitigt, so erhält man einen Wasserstrahl, der auf eine grosse Strecke einen ununterbrochenen Zusammenhang zeigt; setzt man dagegen in der nächsten Umgebung des Strahles auf irgend eine Weise, z. B. durch eine schwingende Saite oder eine kräftige Stimmgabel die Luft in vibrirende Bewegung, so sieht man den Strahl sofort sich stark verkürzen und in einem geringen Abstande von der Ausflussöffnung in Tropfen zertheilen.

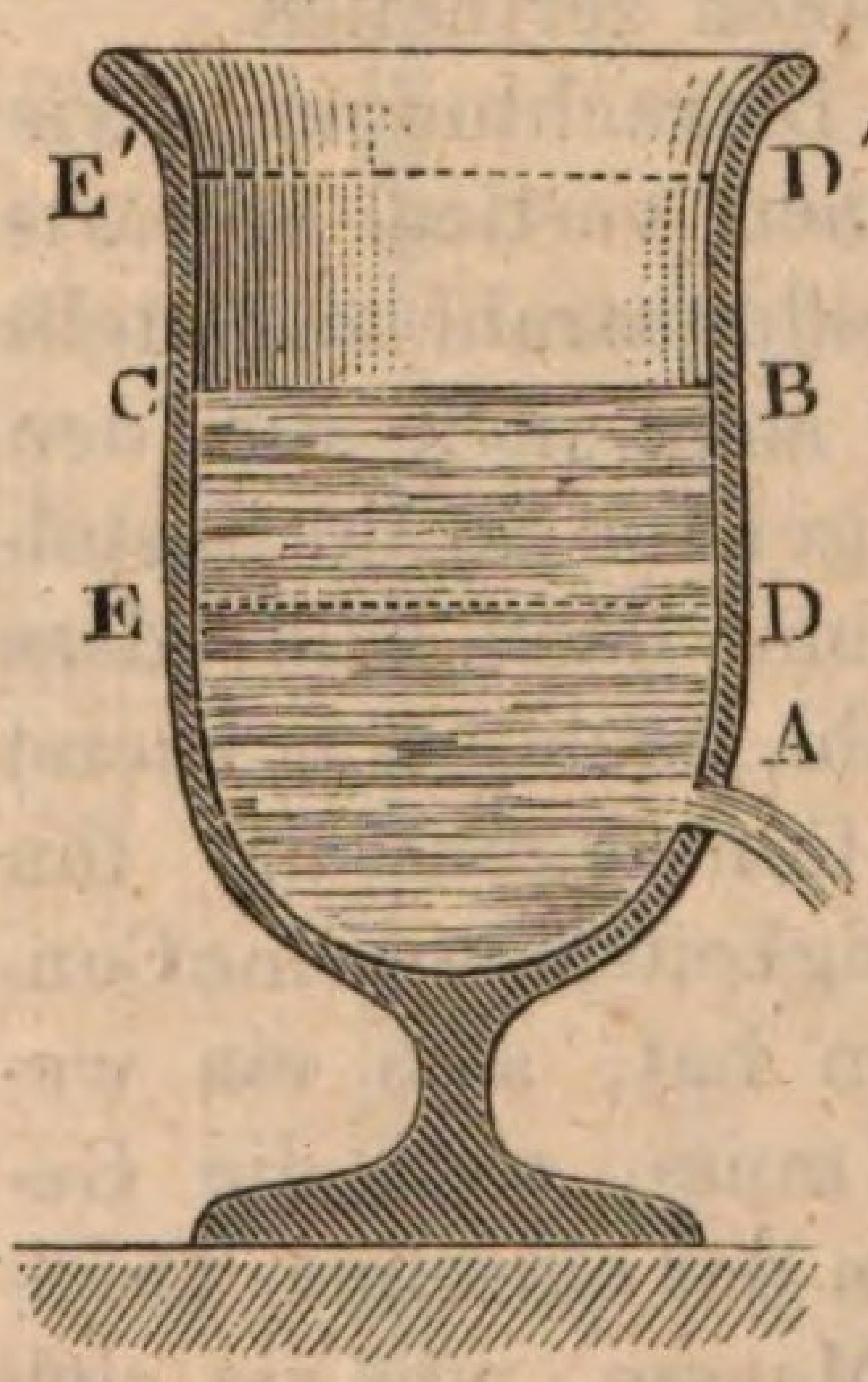
Aehnliche Betrachtungen, wie wir sie für einen vertical abwärts gerichteten Ausflussstrahl angestellt haben, lassen sich auch für den vertical aufsteigenden Strahl anstellen. Man erkennt dann bald, dass ein solcher Strahl, nachdem er zuerst in Folge der Convergenz der ihn bildenden Flüssigkeitsfäden eine Contraction erlitten hat, sich ein wenig erweitern muss, weil die Geschwindigkeiten der einzelnen Theilchen in dem Maasse, wie sie sich von der Ausflussöffnung entfernen, immer kleiner werden und die gegenseitigen Abstände je zweier solcher Theilchen sich verkürzen. Die Wellenbewegungen der einzelnen Flüssigkeitsmoleküle, welche, wie wir

vorhin gesehen haben, einen so grossen Einfluss auf die Gestalt des vertical abwärts fliessenden Strahles haben, sind für den vertical aufwärts springenden Strahl fast ohne Einfluss, weil der Querschnitt desselben, statt mit der Entfernung von der Ausflussöffnung abzunehmen, immer mehr zunimmt und daher niemals klein genug wird, um den Einfluss dieser vibrirenden Bewegung sichtbar hervortreten zu lassen.

82 Das bisher über den Ausfluss der Flüssigkeiten Gesagte gilt allgemein, mag derselbe im luftleeren Raume oder in der atmosphärischen Luft erfolgen; die Ausflussgeschwindigkeit wird stets dieselbe sein, wie gross oder wie klein auch der Druck auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit sein mag, vorausgesetzt, dass auf die Ausflussöffnung von aussen ein gleich grosser Druck vorhanden ist. Wenn dagegen diese beiden Druckkräfte auf die Oberfläche der Flüssigkeit und auf die Oeffnung des Gefässes nicht gleich gross sind, so ist die Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeit sehr verschieden von derjenigen, welche wir oben berechnet haben.

Wenn der äussere Druck auf die Oeffnung A, Fig. 104, grösser ist, als auf die Oberfläche BC der Flüssigkeit, so muss der Ueberschuss des ersteren Druckes über den letzteren jedenfalls kleiner sein, als der Druck der Flüssigkeitssäule, die den verticalen Abstand AB des Flüssigkeitsspiegels CB von der Oeffnung A zur Höhe hat, denn sonst könnte die Flüssigkeit überhaupt aus dieser Oeffnung nicht ausfliessen. Zieht man daher in dem Gefässe eine wagerechte Ebene DE in einer solchen Entfernung unterhalb der Ebene BC, dass das Gewicht eines zwischen diesen beiden Ebenen enthaltenen Flüssigkeitsprismas, dessen Basis die Einheit der Fläche ist, gerade gleich dem erwähnten Ueberschusse des Druckes gegen dieselbe Flächeneinheit ist, und bedenkt man, dass die Flüssigkeit im Gefässe wegen der Kleinheit der Oeffnung A im Verhältnisse zu dem Querschnitte BC des Gefässes beim Ausfliessen nur sehr langsam sich bewegt und daher auch der Druck sich fast auf dieselbe Weise darin fortpflanzt, als wenn sie im Gleichgewicht sich befindet so ist leicht einzusehen, dass der Druck in jedem Punkte der Ebene DE

Fig. 104.



gleich ist dem Drucke auf die Oberfläche CB, vermehrt um den Druck der zwischen ED und CB enthaltenen Flüssigkeit. Da nun der Druck dieser letzteren Flüssigkeit den Ueberdruck auf die Oeffnung A repräsentirt, so ist der Druck in jedem Punkte der Ebene DE gleich dem Drucke auf die Oeffnung A. Die Flüssigkeit unterhalb der Ebene DE befindet sich daher unter denselben Umständen, als wenn die zwischen DE und BC enthaltene Flüssigkeit nicht vorhanden wäre und die Ausflussöffnung A, sowie die freie Oberfläche unter gleichem Drucke ständen. Die Ausflussgeschwindigkeit wird also wieder durch die Formel $\sqrt{2gh}$ dargestellt, vorausgesetzt, dass man unter h den verticalen Abstand AD der Ebene DE über der Oeffnung A versteht.

Wenn der Druck auf die Ausflussöffnung A kleiner ist, als auf die freie Oberfläche BC, so kann man den Ueberschuss des Druckes auf Seiten der Oberfläche durch eine Flüssigkeitssäule von entsprechender Höhe BD' darstellen, die durch die freie Oberfläche $D'E'$ begränzt ist. Der Ausfluss geschieht dann auf dieselbe Weise, mag der Flüssigkeitsspiegel sich in BC befinden und einen grösseren Druck erleiden, als die Oeffnung A, oder mag derselbe in $D'E'$ stehen und einen ebenso grossen Druck erhalten, als die Oeffnung A. Auch in diesem Falle wird man also die Ausflussgeschwindigkeit durch die Formel $\sqrt{2gh}$ erhalten, wenn man unter h den verticalen Abstand AD' der Ausflussöffnung von der neuen Oberfläche $D'E'$ versteht.

Von welcher Höhe man übrigens die Wassersäule zu nehmen hat, welche den einen oder den anderen Ueberdruck zu ersetzen vermag, ist nach dem in §. 69 gegebenen Zahlenbeispiele leicht zu berechnen, wenn jener Ueberdruck in Pfunden auf den Quadratzoll angegeben ist. Für jede andere Flüssigkeit als Wasser kann diese Höhe vermittelst des bekannten specifischen Gewichtes der Flüssigkeit aus der vorher berechneten Höhe der Wassersäule abgeleitet werden.

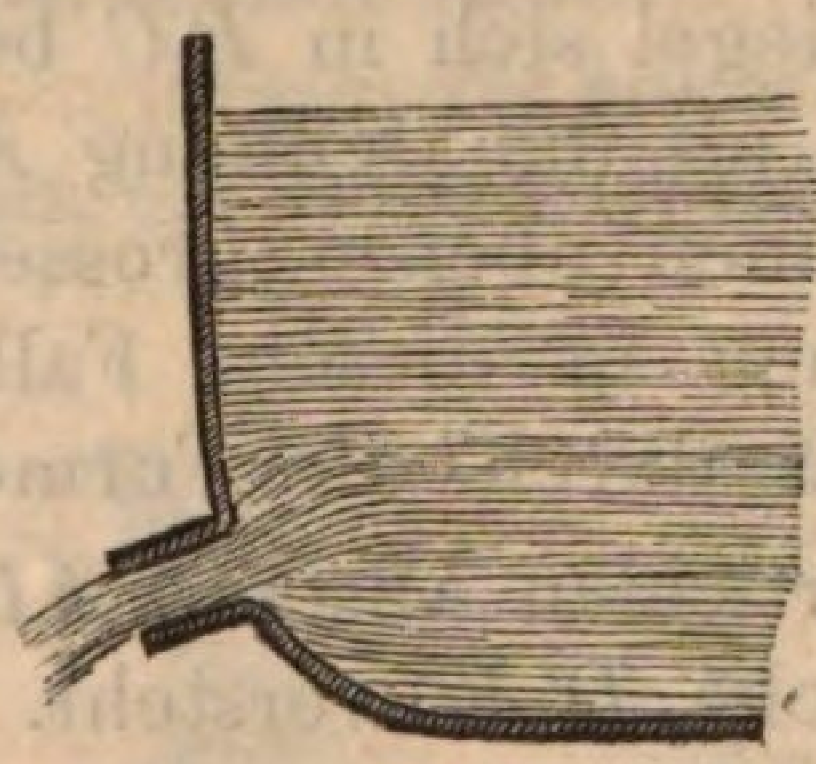
Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, dass eine Verminderung oder eine Vermehrung des Druckes auf die Oberfläche einer Flüssigkeit bei gleichbleibendem Drucke auf die Ausflussöffnung entsprechend eine Abnahme oder Zunahme der Ausflussgeschwindigkeit zur Folge hat, dass dagegen einer Verminderung oder einer Vermehrung des Druckes gegen die Ausflussöffnung bei gleich bleibendem Drucke auf die Ober-

fläche im Gefässe eine entsprechende Zunahme oder Abnahme der Ausflussgeschwindigkeit entspricht.

83 **Wirkung der Ansatzröhren.** Wenn der Ausfluss der Flüssigkeit anstatt durch eine Oeffnung in einer dünnen Wand durch kurze, cylindrisch oder conisch geformte Röhren erfolgt, so wird dadurch der Ausfluss auf eine sehr bemerkenswerthe Weise modificirt. Ist die Oeffnung einfach in einer dicken Wand angebracht, so verhält sie sich ebenso wie eine in einer dünnen Wand befindliche Oeffnung, die mit einer der Dicke der ersteren Wand entsprechenden Ansatzröhre versehen ist. Die Dicke der Wand, in welcher sich die Ausflussöffnung befindet, ist daher auf den Ausfluss der Flüssigkeit von Einfluss, weshalb wir auch bisher immer angenommen haben, dass die Oeffnung in einer dünnen Wand angebracht sei.

Wenn die Ansatzröhre, wie in Fig. 105, cylindrisch ist, so kann der Ausfluss auf zwei verschiedene Weisen stattfinden.

Fig. 105.



Entweder geht der Flüssigkeitsstrahl durch die Röhre ohne ihre Wand zu benetzen, oder er benetzt dieselbe auf ihrer ganzen Ausdehnung. In dem ersten Falle geschieht der Ausfluss in derselben Weise, als wenn die Oeffnung sich in einer dünnen Wand befände; der Strahl zieht sich zuerst zusammen und wird dann von der Contractionsstelle aus augenscheinlich cylindrisch; er füllt die Röhre nicht vollständig aus und man kann dieselbe wegnehmen, ohne den Ausfluss in irgend einer Weise zu verändern. In dem zweiten Falle, der in der Regel eintritt, hat der ausfliessende Flüssigkeitsstrahl eine ganz andere Form, als wenn das Ansatzrohr nicht vorhanden wäre; die Adhäsion der Flüssigkeit an den Wänden der Röhre gestattet nicht, dass der Strahl, wie bei der Oeffnung in der dünnen Wand, eine Contraction erleidet, derselbe nimmt daher sogleich die Form eines Cylinders an, welcher den Querschnitt der Oeffnung oder der Röhre zur Basis hat.

Durch directe Messungen der Ausflussmenge aus cylindrischen Ansatzröhren, deren Wände benetzt wurden und deren Länge ungefähr zwei- bis dreimal grösser als der Durchmesser war, hat sich ergeben, dass bei einer Druckhöhe von 3 bis 20 Fuss und $1\frac{1}{2}$ bis 3 Zoll weiten Röhren die Ausflussmenge durch die Ansatzröhre bedeutend grösser wird; sie ist beinahe 0,82

der theoretischen Ausflussmenge (§. 80), während sie nur 0,64 derselben beträgt, wenn die Ausflussöffnung in einer dünnen Wand angebracht ist. Die Zunahme dieser Ausflussmenge ist leicht zu erklären. Wir haben nämlich gesehen, dass, wenn die wirkliche Ausflussmenge in dem Falle, wo die Oeffnung sich in einer dünnen Wand befindet, viel kleiner ist als die theoretische, dieses daher rührt, dass der ausfliessende Strahl eine Contraction erleidet und daher sein Querschnitt nach der Contraction erheblich kleiner ist, als die Ausflussöffnung selbst. Da nun die cylindrische Ansatzröhre die Contraction des Strahles verhütet, so wird eben hierdurch die Ausflussmenge vergrössert.

Aber man kann nun fragen, warum denn bei der Anwendung einer cylindrischen Ansatzröhre, wo die Contraction des Strahles fehlt, die wirkliche Ausflussmenge nicht gleich der theoretischen ist, warum sie nur 0,82 dieser letzteren beträgt? Die Ursache hiervon ist die, dass die Ansatzröhre nicht bloss den Querschnitt des Strahles verändert und denselben der Ausflussöffnung gleich macht, sondern auch zugleich auf die Ausflussgeschwindigkeit von Einfluss ist, welche dadurch vermindert wird.

Zunächst ist von vorn herein klar, dass eine Vermehrung der Ausflussmenge von einer entsprechenden Verminderung der Ausflussgeschwindigkeit begleitet sein muss. Die Ansatzröhre selbst kann nämlich in keiner Weise den Ausfluss beschleunigen, da in ihr eine beschleunigende Kraft nicht enthalten ist. Es muss daher die auf das Ausfliessen der Flüssigkeit verwendete secundliche Arbeit dieselbe sein, gleichviel ob eine Ansatzröhre vorhanden ist oder nicht. Bezeichnet bei einer Oeffnung in einer dünnen Wand M die Ausflussmenge in einer Secunde und v die Ausflussgeschwindigkeit, so ist $M \,.\, v$ die secundliche auf das Ausfliessen verwendete Arbeit; wird nun durch Anwendung einer Ansatzröhre, wie die Erfahrung zeigt, die secundliche Ausflussmenge wirklich grösser, z. B. M', und bezeichnet man die hierzu gehörige Ausflussgeschwindigkeit mit v', so muss immer noch

$$M \,.\, v = M' \cdot v'$$

sein, was nur dann stattfinden kann, wenn v' kleiner ist als v.

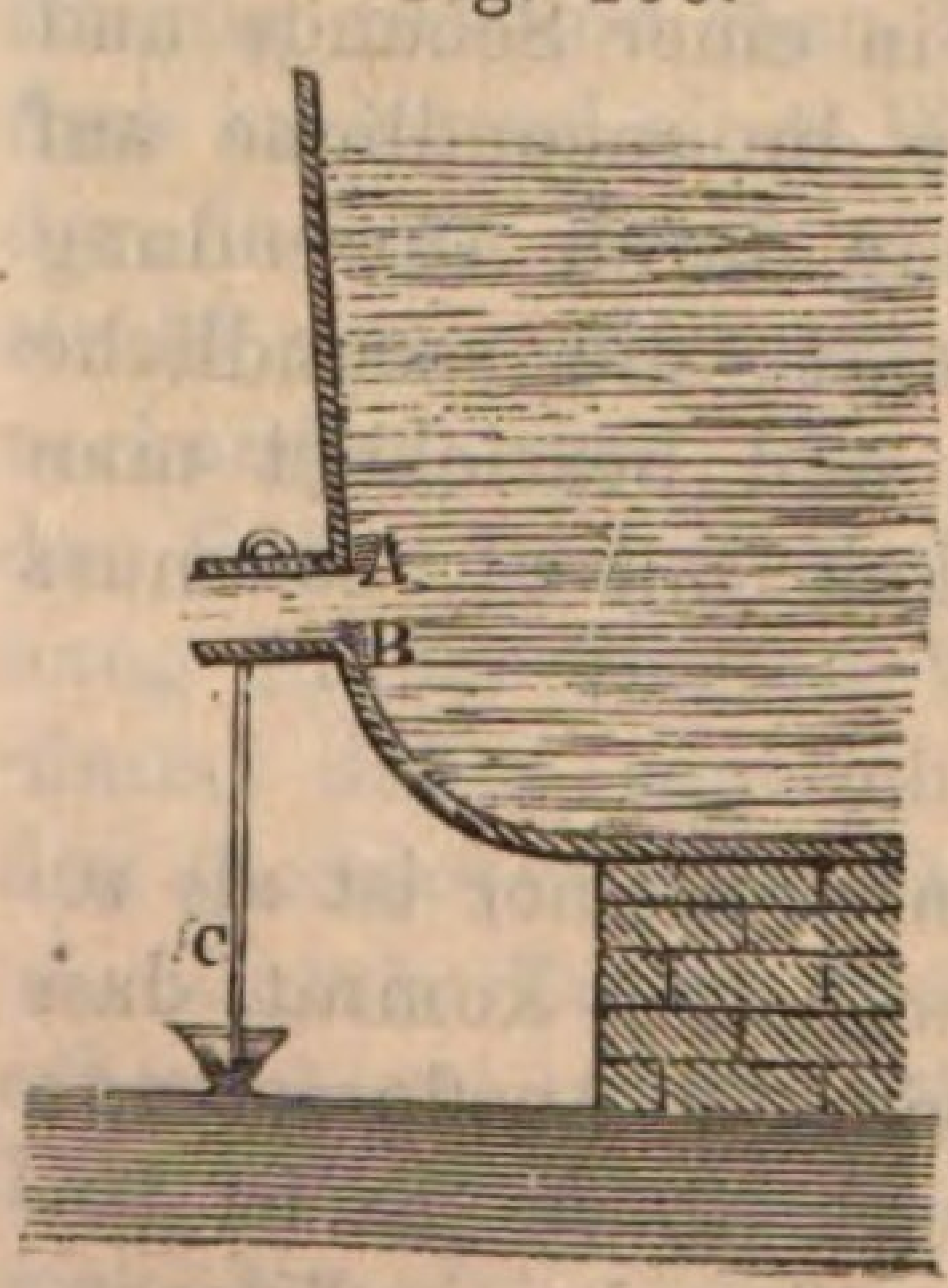
Wir haben also noch zu untersuchen, woher es kommt, dass eine cylindrische Ansatzröhre, während sie die Ausflussmenge vergrössert, die Ausflussgeschwindigkeit verkleinert. Es ist bereits oben gesagt worden, dass die Contraction des ausfliessenden Strahles beim Austreten aus einer Oeffnung in einer dünnen Wand davon herrührt, dass die einzelnen Flüssigkeitsfäden

nach der Ausflussöffnung hin convergiren und diese Convergenz bis auf eine gewisse Strecke über die Oeffnung hinaus beibehalten.

Indem nun die cylindrische Ansatzröhre die Contraction des Strahles nicht zulässt, zwingt sie die Flüssigkeitsfäden, dass sie in dem Augenblicke, wo sie durch die Oeffnung hindurchgehen, ihre Richtung plötzlich ändern. Diese plötzliche Aenderung der Richtung aber ist gleichbedeutend mit einem Stosse, den jeder Flüssigkeitsfaden erleidet und in dessen Folge er genöthigt wird, einen anderen Weg zu verfolgen als vordem; es ist aber bereits in I. §. 171 nachgewiesen worden, dass die Stösse im Allgemeinen von einem Verluste an Arbeit begleitet sind. Aus diesem Grunde können daher die Flüssigkeitstheilchen von dem Augenblicke an, wo sie in die Ansatzröhre einströmen, nicht mehr dieselbe Geschwindigkeit behalten, welche sie vordem hatten. Da der Versuch lehrt, dass die wirkliche Ausflussmenge durch eine cylindrische Ansatzröhre nur 0,82 der theoretischen ist, so folgt hieraus, dass die Ausflussgeschwindigkeit durch die Einwirkung dieser Röhre in dem Verhältnisse von 1 zu 0,82 vermindert worden ist.

Die plötzliche Aenderung, welche die Flüssigkeitsfäden beim Eintritt in die Ansatzröhre in ihrer Richtung erleiden, hat eine Reaction dieser Fäden gegen die Wände der Röhre zur Folge. Diese Reaction, eine Art Centrifugalkraft, verursacht eine Verminderung des Druckes der Flüssigkeit gegen die Wand der Röhre, so dass der Druck, den sie in der Nähe der Wandöffnung *AB*, Fig. 106, auf die Wand der Ansatzröhre ausübt, in Wirklichkeit kleiner ist, als der Luftdruck. Man kann dieses leicht nachweisen, wenn man eine Glasröhre *C* oben mit der Ansatzröhre in Verbindung bringt und dieselbe unten in ein Gefäss mit Quecksilber eintaucht. Sobald die Flüssigkeit ausfliesst, sieht man das Quecksilber in die Glasröhre aufsteigen, und sich darin, so lange der Ausfluss dauert, auf einer gewissen Höhe erhalten. Der Durchgang der Flüssigkeit durch die Ansatzröhre bewirkt also eine Art Saugen gegen die Wände derselben, in Folge dessen das Quecksilber in der Röhre *C* gerade so in die Höhe steigt, als ob man es an dem oberen Ende derselben direct aufgesaugt hätte.

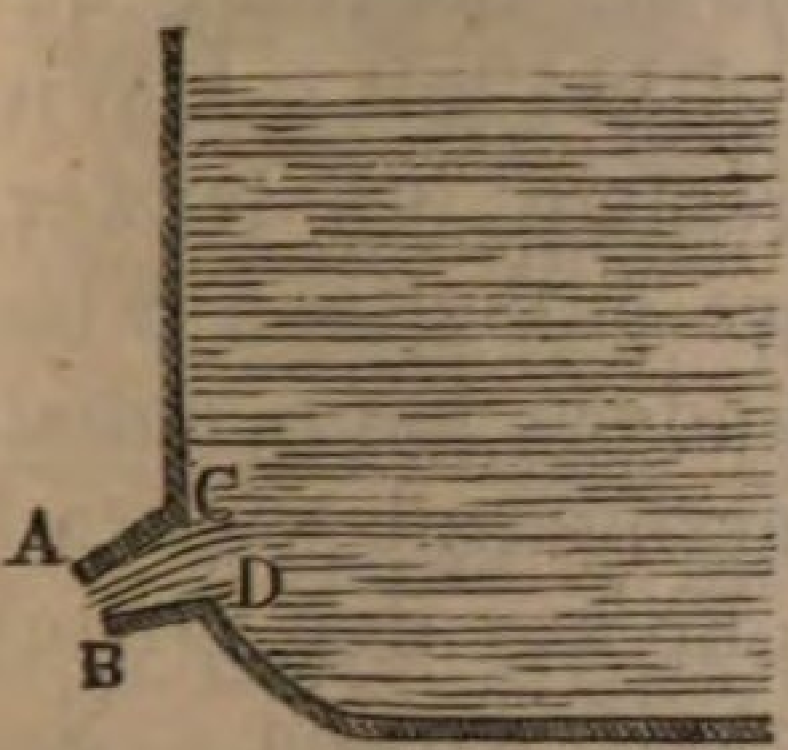
Fig. 106.



Conische Ansatzröhren. Was wir so eben über die Wirkung der cylindrischen Ansatzröhren gesagt haben, lässt sich leicht auf die Erscheinungen, welche anders geformte Ansatzröhren darbieten, anwenden. 84

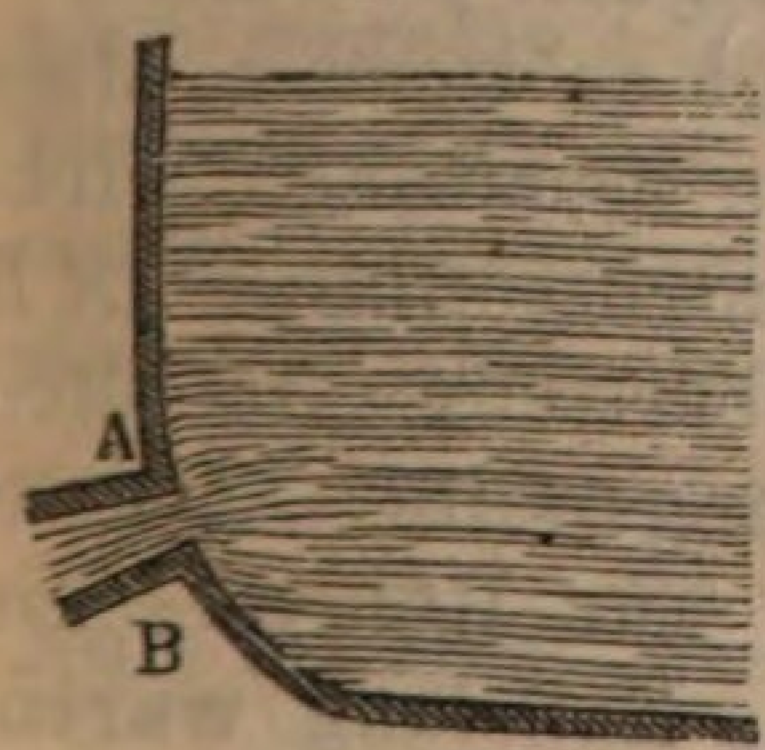
Eine convergirende conische Ansatzröhre, Fig. 107, hat bei gleicher Länge einen verschiedenen Einfluss auf die Ausflussmenge der Flüssigkeit, je nach dem Unterschiede der Durchmesser der beiden Grundflächen CD und AB. Man hat durch Versuche zu ermitteln gesucht, welche Form eine solche Ansatzröhre für eine gegebene Ausflussöffnung AB haben müsse, damit die Ausflussmenge möglichst gross sei, und hat gefunden, dass dieses dann der Fall ist, wenn die Länge der Röhre $2\frac{1}{2}$mal grösser ist, als der kleinere Durchmesser AB, ausserdem aber der Convergenzwinkel der Seiten CA und DB $13\frac{1}{2}^0$ beträgt. Bei Anwendung einer solchen Ansatzröhre, wie sie sich in der Figur 107 befindet, ist die wirkliche Ausflussmenge 0,95 von derjenigen theoretischen, welche der Mündung AB entspricht. Es ist dieses leicht erklärlich, wenn man bedenkt, einerseits, dass sich der ausfliessende Strahl bei seinem Austreten aus der Mündung AB der Röhre nur wenig zusammenziehen kann, weil die einzelnen Flüssigkeitsfäden nur sehr wenig convergiren, anderntheils, dass der aus einer plötzlichen Aenderung in der Richtung der Flüssigkeitstheile hervorgehende Geschwindigkeitsverlust bei den conischen Ansatzröhren offenbar viel kleiner ist, als bei den cylindrischen, da eben bei jenen die Aenderung in der Richtung der Flüssigkeitstheile kleiner ist, als bei diesen.

Fig. 107.



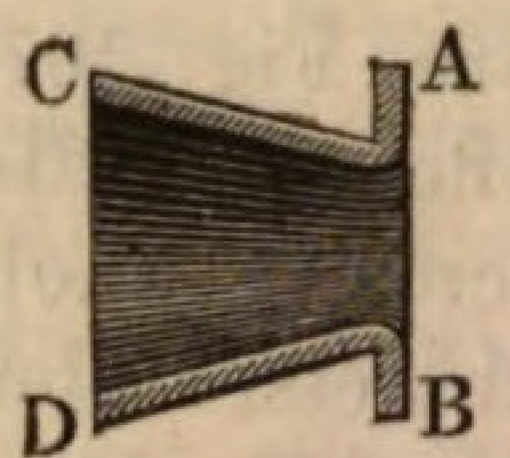
Setzt man endlich eine divergirende conische Ansatzröhre an eine Ausflussöffnung AB, Fig. 108, so tritt, wenn die Flüssigkeit die Wand der Röhre benetzen kann, die auffallende Erscheinung ein, dass unter Umständen die wirkliche Ausflussmenge grösser ist, als die der Oeffnung AB entsprechende theoretische Wassermenge. Die Ursache hiervon ist in dem Umstande zu suchen, dass das bei AB, Fig. 109 (a. f. S.), in das Einsatzrohr eintretende Wasser bei seinem Durchgange durch die Röhre einen immer grösseren Querschnitt auszufüllen

Fig. 108.



hat, und dabei sich in dem Maasse, wie es von *AB* nach *CD* vordringt, immer mehr ausbreiten muss. Aber eben durch diese Ausbreitung der Flüssigkeit muss sich ihre Geschwindigkeit vermindern, so dass dieselbe an der Mündung *CD* kleiner ist, als in der Eintrittsöffnung *AB*. Die Abnahme dieser Geschwindigkeit aber kann nur durch eine Kraft hervorgerufen werden, welche der Richtung der Bewegung entgegenwirkt, und hat mit der Wirkung der Schwere nichts gemein, da letztere in keiner Weise auf die in einer Ansatzröhre enthaltene Flüssigkeit einwirken und ihre Geschwindigkeit ändern kann, sobald die Achse der Röhre wagerecht ist. Die verzögernd wirkende Kraft, welche also hier thätig ist, kann nur aus den Druckkräften hervorgehen, welche auf die Flüssigkeit wirken. Nun wirkt bekanntlich auf die bei *CD* austretende Flüssigkeit einerseits der volle Luftdruck, andererseits in der entgegengesetzten Richtung der Druck der Flüssigkeit, welche aus dem Gefässe austritt und durch den Querschnitt *AB* in die Ansatzröhre eindringt. Es muss folglich der erstere Druck auf *CD* stärker sein als der letztere, weil sonst eine Verminderung in der Geschwindigkeit der von *AB* nach *CD* sich bewegenden Flüssigkeit nicht entstehen könnte. Hieraus aber folgt weiter, dass der Druck, den die durch *AB* hindurchgehende Flüssigkeit erleidet, kleiner ist als der Luftdruck, also kleiner als der Druck auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit im Gefässe. Wenn dieses aber der Fall ist, so muss nach §. 82 die Ausflussgeschwindigkeit durch *AB* grösser sein, als wenn der Druck auf *AB* und auf die Oberfläche gleich gross ist. Es entsteht allerdings auch hier ein Verlust an Geschwindigkeit wegen der plötzlichen Aenderung in der Richtung der bei *AB* in die Ansatzröhre eintretenden Wasserfäden, aber dieser Verlust wird mehr als vollständig durch die Vergrösserung der Geschwindigkeit aufgehoben, welche aus der Abnahme des Druckes der bei *AB* in die Röhre eintretenden Flüssigkeit herrührt.

Fig. 109.

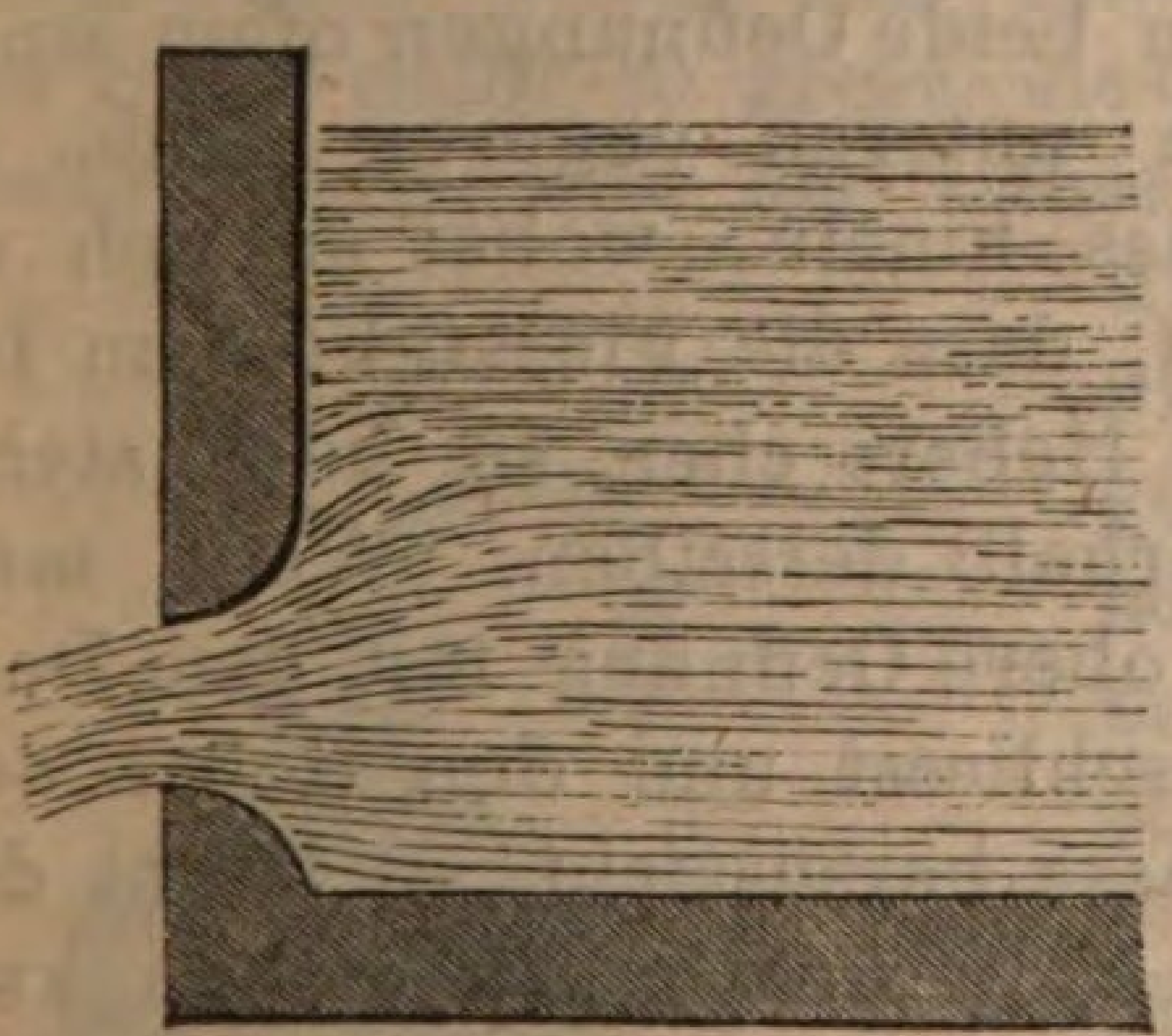


Es braucht wohl kaum noch hinzugefügt zu werden, dass die durch divergirende conische Ansatzröhren erhaltenen wirklichen Ausflussmengen nur die aus der Eintrittsöffnung *AB* berechneten theoretischen Wassermengen übertreffen, in allen Fällen aber kleiner sind, als die der Mündungsweite *CD* entsprechenden theoretischen Wassermengen. Für Röhren, die innen 12, aussen $21\frac{1}{2}$ Linien weit und $8\frac{13}{16}$ Zoll lang waren,

betrug die wirkliche Ausflussmenge 1,55 der aus der inneren engeren Oeffnung AB berechneten theoretischen Ausflussmenge, dagegen nur 0,48 der für die äussere und weitere Oeffnung CD sich ergebenden theoretischen Wassermenge.

Anwendungen. Will man die Geschwindigkeit, mit wel- 85
cher eine Flüssigkeit ausfliesst, nutzbar machen, z. B. um ein Wasserrad zu treiben, so muss vor Allem jeder Verlust an Geschwindigkeit, der aus einer plötzlichen Aenderung in der Richtung der einzelnen nach der Ausflussöffnung hinströmenden Wasserfäden herrühren könnte, vermieden werden. Da die Gefässwand, in welcher die Oeffnung angebracht werden soll, nothwendig eine gewisse Dicke haben muss, um dem Druck des Wassers Widerstand leisten zu können, so verhält sich eine darin angebrachte Oeffnung wie eine Oeffnung in einer dünnen Wand, die mit einem Ansatzrohre versehen ist. Um daher die Verluste an Geschwindigkeit, die aus dem Durchgange durch diese Oeffnung entstehen könnten, möglichst zu vermeiden, rundet man den inneren Rand der Oeffnung nach der Form einer convergirenden conischen Ansatzröhre ab, Fig. 110. Hierdurch erreicht man, dass die Flüssigkeitsfäden nur allmälig ihre Richtung ändern können und dass sie beinahe mit der ganzen Geschwindigkeit aus dem Gefässe ausströmen, welche der Höhe des Wasserspiegels über der Ausflussöffnung oder der Druckhöhe entspricht.

Fig. 110.



Der Verlust an Geschwindigkeit beträgt in diesem Falle nur 3 Procent; die wirkliche Ausflussmenge ist daher nach §. 80 $0{,}97 \times 0{,}64 . F . \sqrt{2gh} = 0{,}62 . F . \sqrt{2gh}$.

Nach dem Vorigen ist es nun leicht, für die gewöhnlicheren Fälle des Ausfliessens einer Flüssigkeit die Ausflussmenge für eine gegebene Zeit zu berechnen. Nehmen wir z. B. an, der Durchmesser der kreisförmigen Oeffnung in einer dünnen Wand eines Gefässes sei $3^3/_4$ Zoll, und der Wasserspiegel im Gefässe stehe 30 Zoll über dem Centrum der Ausflussöffnung, so ist die secundliche Ausflussöffnung $M = 0{,}62 . F . \sqrt{2gh}$.

Nun ist aber $F = \frac{d^2\pi}{4} = \frac{(3^3/_4)^2 . 3^1/_7}{4} = 11{,}0450$ Quadratzoll

= 0,077 Quadratfuss. Setzt man ferner an die Stelle von g den Werth $31^1/_4$ Fuss, und von h 30 Zoll = $2^1/_2$ Fuss, so ist

$$M = 0{,}62 \,.\, 0{,}077 \sqrt{2 \,.\, 31^1/_4 \,.\, 2^1/_2} = 0{,}597 \text{ Kubikfuss,}$$

daher die Ausflussmenge für eine Stunde

$$M' = 3600 \times 0{,}597 = 2149{,}2 \text{ Kubikfuss.}$$

Hätte man an die Mündung der dünnen Wand von $3^3/_4$ Zoll Weite eine convergirend conische Ansatzröhre von der Form der Fig. 107 angesetzt, so würde die secundliche Ausflussmenge betragen haben:

$$M_1 = 0{,}95 \,.\, F \,.\, \sqrt{2gh} = 0{,}914 \text{ Kubikfuss.}$$

86 **Die Heber** dienen im Allgemeinen dazu, Flüssigkeiten aus einem Gefässe in ein anderes überzufüllen. Man unterscheidet zwei Arten von Hebern, den Stechheber und den Saugheber.

Der Stechheber, Fig. 111 und 112, ist ein röhrenförmiges Gefäss von Blech oder Glas, welches in der Mitte bauchig erweiters, an der Seite mit einem Griffe versehen und an beiden Enden offen ist. Um damit eine Flüssigkeit aus einem Gefässe auszuheben, taucht man ihn, wenn beide Oeffnungen offen sind, mit dem unteren engeren Ende in das Gefäss hinein, wobei er sich so weit füllt, dass die Flüssigkeit im Innern des Hebers eben so hoch steht, als ausserhalb desselben. Wenn man nun die obere Oeffnung mit dem Daumen verschliesst und den Heber aus dem Gefässe herauszieht, so bleibt die Flüssigkeit in demselben stehen und kann in ein anderes Gefäss abgelassen werden, wenn man den Daumen von der oberen Oeffnung entfernt.

Fig. 111.

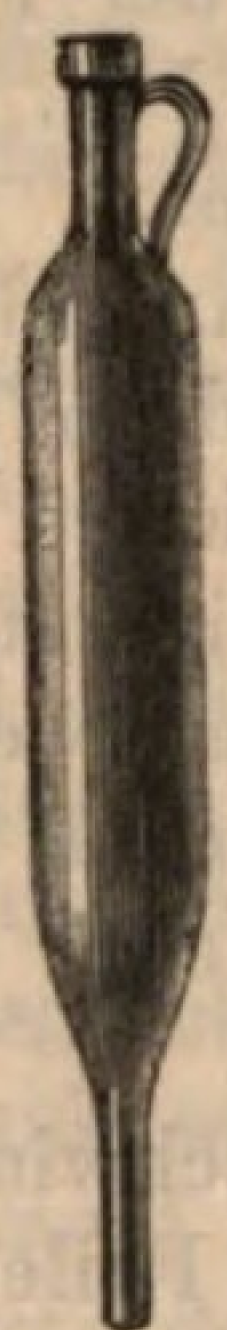


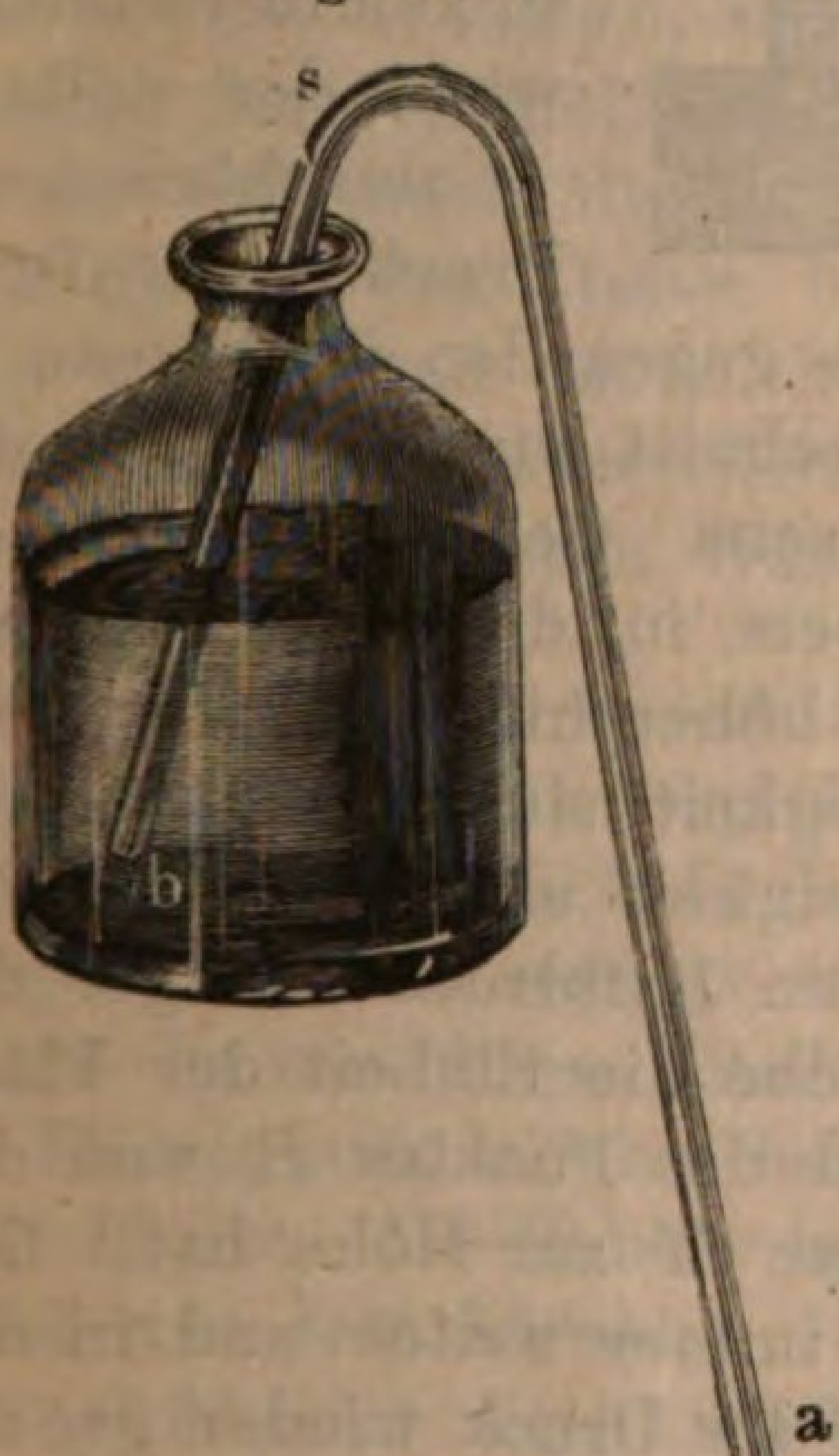
Fig. 112.



Die Ursache, warum bei Herausheben des gefüllten Hebers aus dem Gefässe die darin enthaltene Flüssigkeit nicht ausläuft, ist folgende. Wenn die Flüssigkeit nach dem Gesetze der communicirenden Gefässe im Innern und Aeussern des Hebers gleich hoch steht, und die obere Oeffnung nicht verschlossen ist, hat die im Innern des Hebers noch enthaltene atmosphärische Luft dieselbe Dichtigkeit und daher auch dieselbe Spannung, wie ausserhalb desselben. Verschliesst man

nun die obere Oeffnung, so ändert dieses durchaus nichts in dem Druck der eingeschlossenen Luft; vermöge ihrer Expansivkraft übt sie denselben Druck auf die unter ihr befindliche Flüssigkeit des Hebers aus, als wenn sie noch fortwährend mit der äusseren Luft in Verbindung stände. Zieht man nun, die obere Oeffnung verschlossen haltend, den Heber aus dem Gefässe heraus, so wirkt auf die untere Oeffnung von der einen äusseren Seite der Druck der atmosphärischen Luft, von der entgegengesetzten inneren Seite der gleiche Druck der eingeschlossenen Luft, vermehrt um den Druck der in dem Heber enthaltenen Flüssigkeit; es kann also Gleichgewicht nicht vorhanden sein, vielmehr ist der innere Druck überwiegend und es muss in Folge hiervon ein kleiner Theil der eingeschlossenen Flüssigkeit aus dem Heber auslaufen. In dem Maasse aber, als einige Tropfen aus dem Heber ausfliessen und damit das Niveau der eingeschlossenen Flüssigkeit im Heber sinkt, dehnt sich die darüber befindliche Luft aus und nimmt ein grösseres Volumen ein, als vordem. Nach dem Mariotte'schen Gesetze (§. 43) nimmt nun der Druck eines eingeschlossenen Gases in demselben Verhältnisse ab, als das Volumen desselben zunimmt; der Druck der Luft im Innern des Hebers ist folglich nicht mehr so gross, als der Druck der äusseren atmosphärischen Luft, und der Ueberwucht des letzteren wird dann durch eine Flüssigkeitssäule von entsprechender Höhe das Gleichgewicht gehalten. Oeffnet man nachher die obere Mündung des Hebers, so wirkt wieder der volle atmosphärische Druck in der Richtung von oben nach unten und die Flüssigkeit fliesst in Folge ihrer eigenen Schwere aus.

Fig. 113.



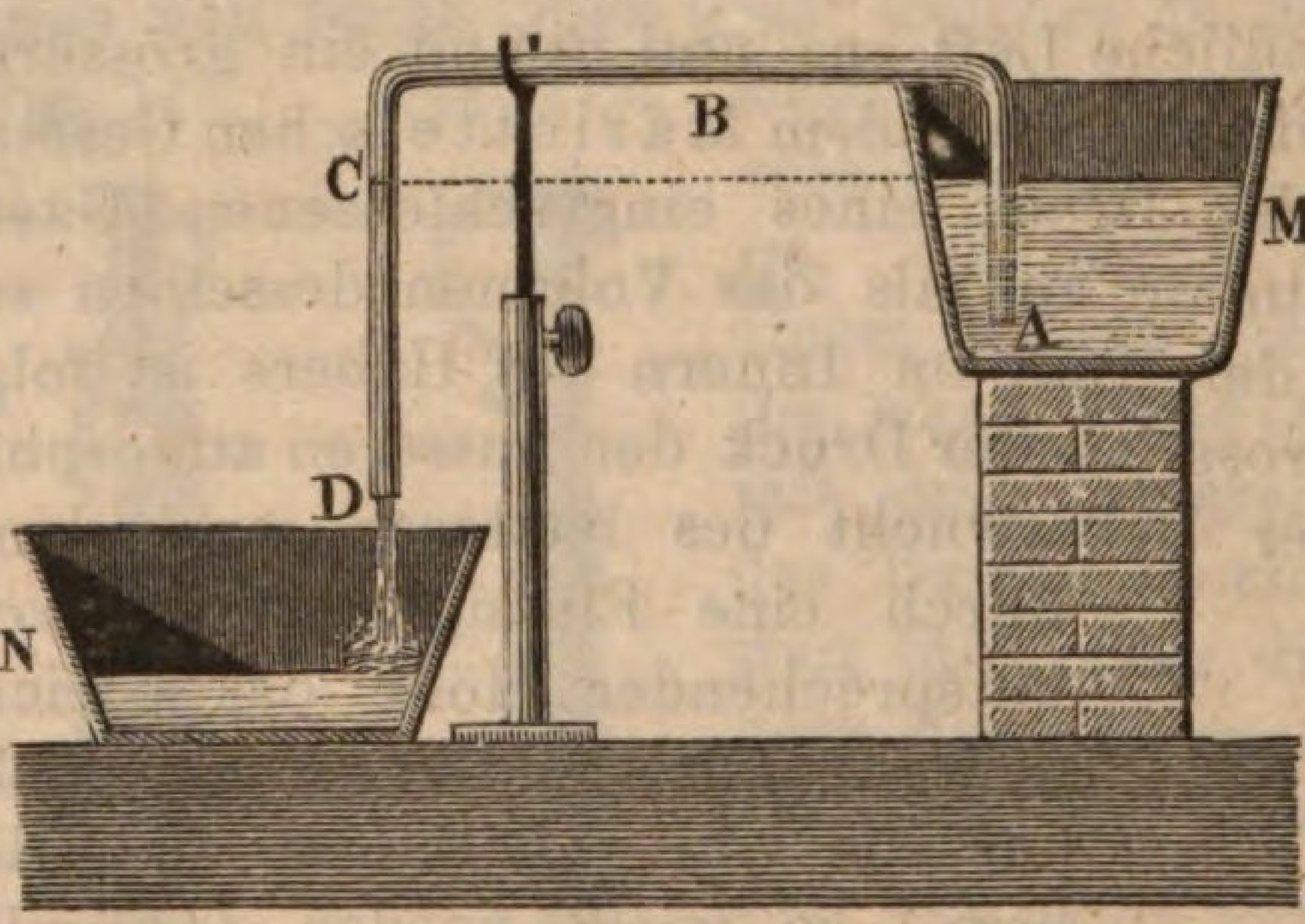
Der Saugheber ist, wie Fig. 113 zeigt, in seiner einfachsten Gestalt, eine gebogene Röhre *b s a* von Blech oder Glas, deren Schenkel *sb*, *sa* ungleiche Länge haben. Um damit eine Flüssigkeit aus einem Gefässe abzuziehen, steckt man den kürzeren Schenkel *sb* in die Flüssigkeit, saugt an dem Ende *a* des längeren Schenkels die Flüssigkeit

in den Heber auf, bis derselbe ganz angefüllt ist und überlässt ihn sich selbst; die Flüssigkeit läuft dann am Ende des längeren Schenkels so lange aus, bis das Niveau im Gefässe unter das Ende *b* des kürzeren Schenkels herabgesunken ist.

Anstatt den Heber durch Saugen zu füllen, was bei Säuren und anderen ätzenden Flüssigkeiten nicht angeht, kann man denselben in umgekehrter Stellung auch auf die gewöhnliche Weise füllen, bevor man den kürzeren Schenkel in das zu entleerende Gefäss eintaucht. Wenn dieses geschehen ist, verschliesst man seine beiden Oeffnungen, kehrt ihn um und steckt dann, die Oeffnungen immer noch verschlossen haltend, den kürzeren Schenkel in das Gefäss; entfernt man nun den Verschluss, so läuft die Flüssigkeit aus dem längeren Schenkel aus.

Um die Wirkung eines solchen Hebers zu erklären, denken wir uns, dass die Oeffnung *D*, Fig. 114, des längeren Schenkels durch einen kleinen Kolben verschlossen sei, und wollen nun untersuchen, welchen Druck dieser Kolben auf jeder Seite auszuhalten hat. Auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit im Gefässe *M* wirkt der volle atmosphärische Druck. Der Druck der Flüssigkeit im Innern des Hebers gegen den im Niveau der äusseren Flüssigkeit liegenden Querschnitt muss also ebenfalls gleich dem atmosphärischen Druck sein. Gehen wir nun von dieser Stelle aus im Innern des Hebers in die Höhe, so wird der Druck in dem Maasse, als man höher hinauf geht, immer kleiner, weil dem durch die Flüssigkeit sich fortpflanzenden Luftdruck der Druck der Heberflüssigkeit entgegenwirkt; der Druck in *B* z. B. wird gleich sein dem Luftdruck weniger dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche die Einheit der Fläche zur Basis und den verticalen Abstand des Punktes *B* von dem Niveau der Flüssigkeit in dem Gefässe *M* zur Höhe hat. Geht man auf diese Weise in dem Heber immer weiter und in dem zweiten Schenkel *CD* herab, so wird der Druck wieder grösser, weil die dem Luftdruck entgegenwirkende Flüssigkeitssäule

Fig. 114.



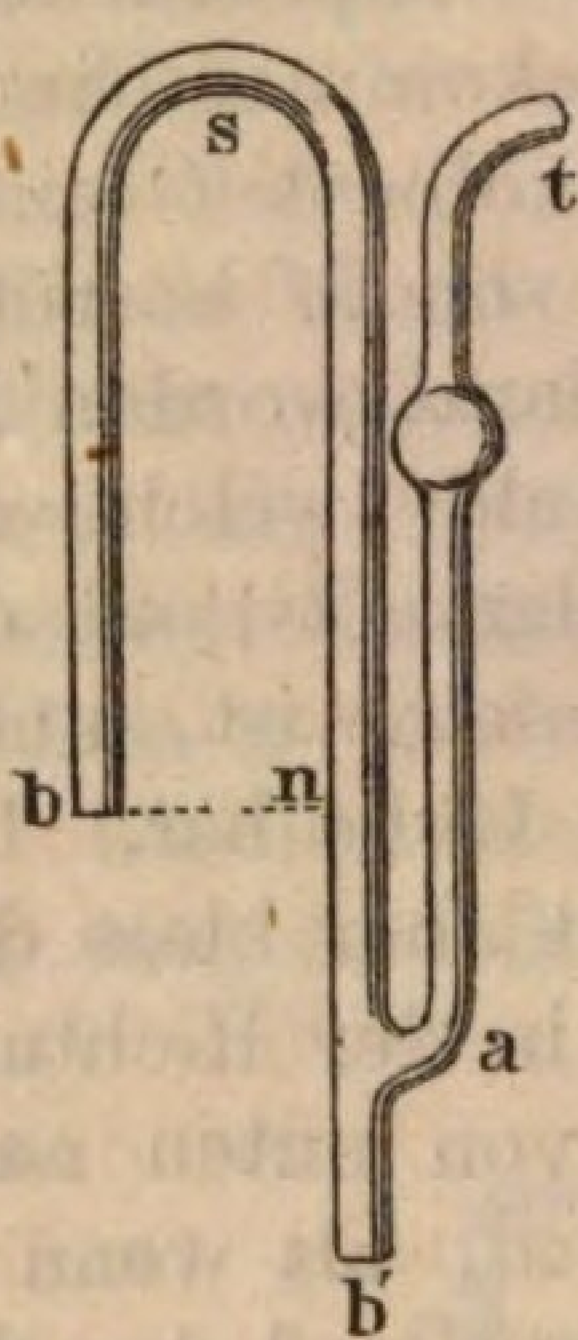
kleiner wird, bis in C, dem mit der Oberfläche der Flüssigkeit im Gefässe M in gleichem Niveau liegenden Querschnitt, der Druck wieder dem vollen Atmosphärendruck gleich ist. Geht man noch tiefer im Heber herunter, so wird der Druck immer grösser, weil zu dem durch die Flüssigkeit des Hebers sich fortpflanzenden Luftdruck noch der Druck einer entsprechenden Flüssigkeitssäule hinzukommt; endlich in D angekommen, findet man auf der oberen Fläche des kleinen Schliesskolbens D einen Druck gleich dem atmosphärischen Druck, der von M herrührt und durch die Flüssigkeit des Hebers fortgepflanzt worden ist, vermehrt um das Gewicht einer Flüssigkeitssäule, welche die Einheit der Fläche zur Basis und den verticalen Abstand des Punktes D unter dem Punkte C oder, was dasselbe ist, unter dem Niveau der Flüssigkeit im Gefässe M zur Höhe hat. Die untere und äussere Seite des Kolbens D erleidet aber bloss den Druck der atmosphärischen Luft, sie ist daher in der Richtung von oben nach unten stärker gedrückt, als von unten nach oben. Der Kolben D verhält sich also gerade so, als wenn er einen Theil der Wand des Gefässes M ausmachte und daselbst sich in dem genannten Abstande CD unterhalb des Niveaus befände. Hieraus ist klar, dass, wenn man den Kolben, dessen wir uns nur zur Erklärung des Hebers bedient haben, wegnimmt, das Ausfliessen der Flüssigkeit wie aus einer Oeffnung der Gefässwand vor sich gehen muss und zwar mit einer Geschwindigkeit $\sqrt{2gh}$, welche der Fallhöhe $h = CD$ entspricht. Dass in der Wirklichkeit die Ausflussgeschwindigkeit kleiner ist, als sie sich nach dieser Formel ergeben würde, rührt daher, dass die in den Heber bei A eindringenden Flüssigkeitsfäden eine starke und plötzliche Aenderung in der Richtung ihrer Bewegung und ausserdem noch eine nicht unbedeutende Reibung an den inneren Wänden des Hebers erleiden.

Der Heber kann nur im lufterfüllten Raume fliessen; ohne den Druck der atmosphärischen Luft auf die Oberfläche der Flüssigkeit in M würde diese nicht von A nach B in die Höhe steigen. Wollte man es versuchen, den gefüllten Heber im luftleeren Raume fliessen zu lassen, so würde dieses nicht gelingen; die Flüssigkeit, welche den Heber ausfüllt, würde sich im höchsten Punkte des Hebers in zwei Theile theilen, von denen ein Theil aus dem kürzeren, der andere aus dem längeren Schenkel abflösse. Auch ist klar, dass die Länge der Schenkel des Hebers gewisse Gränzen nicht überschreiten darf, da die

Flüssigkeitssäule, welche von dem Luftdruck gehoben werden kann, eine bestimmte Gränze hat (§. 39).

Um den Heber bequem füllen zu können, versieht man ihn häufig mit einer Saugröhre *at*, Fig. 115, welche an dem unteren Ende des längeren Schenkels bei *b'* angesetzt, in der Mitte kugelförmig erweitert und an dem freien Ende bei *t* etwas zurückgebogen ist. Um den Heber zu füllen, stellt man ihn mit dem unteren Ende des kürzeren Schenkels *sb* in das zu entleerende Gefäss, verschliesst die Oeffnung *b'* des längeren Schenkels und saugt an dem Rohre *t* die Luft aus dem Heber. Der Ueberdruck der äusseren atmosphärischen Luft presst dann die Flüssigkeit in das Innere des Hebers *bsb'*, welcher sich dadurch sofort anfüllt. Bevor noch die Flüssigkeit das Rohr *at* ganz angefüllt hat, zieht man den Verschluss von der Oeffnung *b'* weg, worauf dann der Heber sofort anfängt zu fliessen.

Fig. 115.



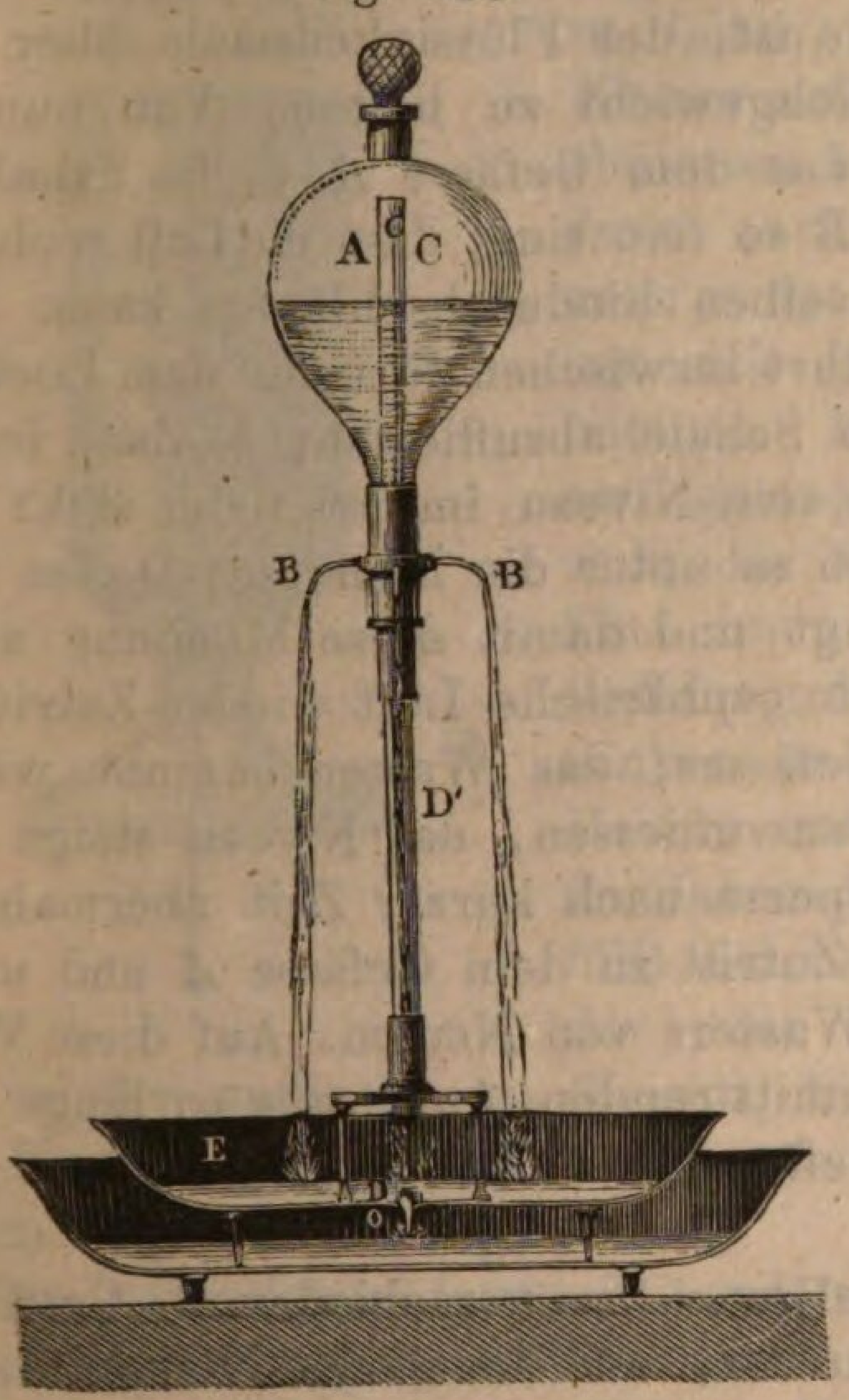
87 **Constanter Ausfluss.** Die Geschwindigkeit, mit welcher eine Flüssigkeit aus einem Gefässe ausfliesst, ist nur dann constant, wenn sich während des Ausflusses die Druckhöhe oder, was auf dasselbe hinausläuft, der Stand des Niveaus in dem Gefässe nicht ändert. Um daher einen constanten Ausfluss zu erhalten, muss der Behälter, aus welchem das Ausfliessen geschieht, beständig wieder Zufluss erhalten, und zwar so, dass der Flüssigkeitsspiegel eine unveränderliche Höhe behält.

Es giebt sehr viele Vorrichtungen, welche diesen Zweck erfüllen, und wir haben bereits in §. 49 eine solche kennen gelernt. Wenn man es mit grossen Wassermassen zu thun hat, so besteht das einfachste Mittel, diesen Zweck zu erreichen, darin, dass man den Behälter, aus welchem das Wasser ausfliessen soll, mit einer Wasserquelle in Verbindung setzt und in der Seitenwand desselben in der Höhe des constant zu erhaltenden Niveaus eine hinlänglich grosse Oeffnung anbringt. Wenn dann die Wasserquelle, welche das Reservoir zu speisen hat, mehr Wasser liefert, als durch die Ausflussöffnung abfliesst, so läuft das überschüssige Wasser durch die seitliche Oeffnung ab und das Niveau bleibt unveränderlich. Man macht von diesem Mittel, das Niveau und die Geschwindigkeit des ausfliessenden

Wassers constant zu erhalten, sehr häufig Gebrauch bei den verschiedenen Arten von Wasserrädern.

Intermittirender Ausfluss. Der intermittirende Brunnen, 88
Fig. 116, giebt eine klare Anschauung von der Art und Weise, wie ein intermittirender Ausfluss stattfinden kann. Das Gefäss *A* ist zum Theil mit Wasser angefüllt, welches durch vier seitliche Oeffnungen *B*, *B* abfliessen kann. Das Gefäss *A* steht mit seinem oberen Theile mit der atmosphärischen Luft nicht in Verbindung, dagegen ruht es auf einer verticalen, hohlen, an beiden Enden offenen Röhre, welche luftdicht durch die bei *B* angebrachte Metallfassung hindurchgeht und den oberen Theil des Gefässes *A* mit der atmosphärischen Luft in Verbindung setzt. In Folge dieser Verbindung wirkt der volle Druck der atmosphärischen Luft ungehindert auf die Oberfläche des in *A* enthaltenen Wassers und dieses fliesst in Folge seiner eigenen Schwere durch die vier Oeffnungen *B*, *B* in die darunter stehende Schale *E* aus. Die Schale *E* hat ein Loch *O*, durch welches das Wasser in die darunter befindliche zweite Schale abfliesst. Da jedoch durch das Loch *O* nicht so viel Wasser abfliessen kann, als aus den vier Oeffnungen *B*, *B* in die Schale *E* herabfällt, so steigt das Niveau in dieser letzteren Schale immer höher, und versperrt sehr bald die untere Oeffnung *D* der Röhre *CD'*, welche bisher der atmosphärischen Luft den Zutritt zu dem oberen Gefässe *A* gestattete. Von diesem Augenblicke an treten ähnliche Verhältnisse ein, wie bei dem Stechheber, wenn man diesen aus der Flüssigkeit heraushebt. Da die äussere

Fig. 116.

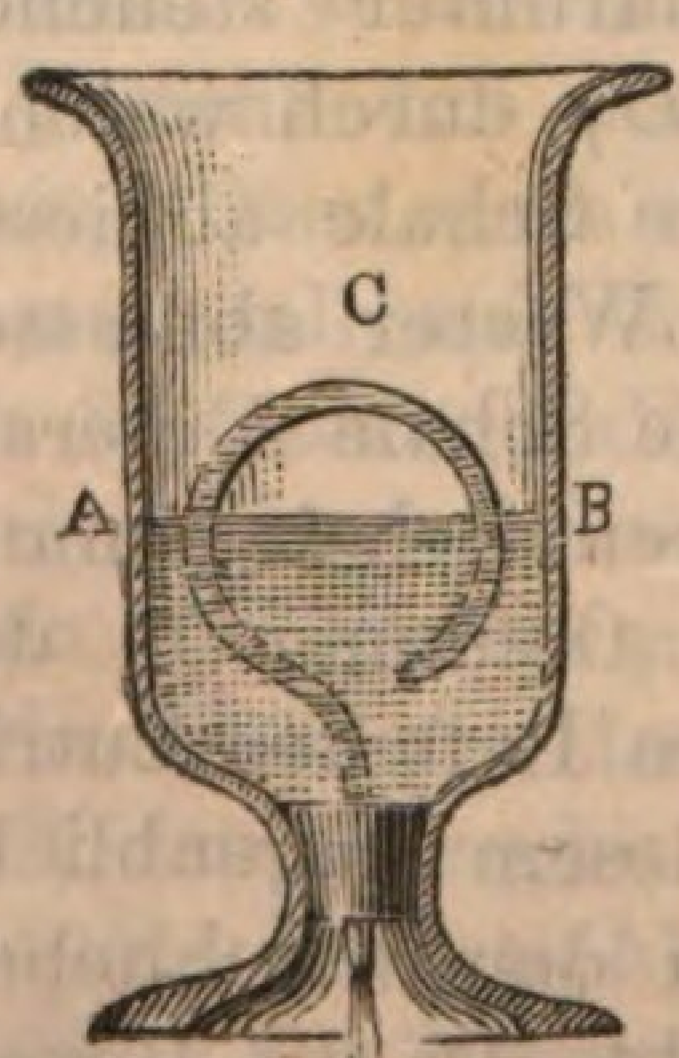


atmosphärische Luft von dem Gefässe A abgeschnitten ist, so dehnt sich bei weiterem Ausfliessen des Wassers aus dem Gefässe A die darin enthaltene Luft aus und verliert in demselben Maasse an Druck, als ihr Volumen grösser geworden ist. Die Geschwindigkeit des Ausfliessens wird immer geringer, bis der Ausfluss ganz aufhört, wenn der Ueberdruck der äusseren atmosphärischen Luft im Stande ist, der Flüssigkeitssäule über den Oeffnungen B, B das Gleichgewicht zu halten. Von nun an fliesst kein Wasser mehr aus dem Gefässe A in die Schale E ab, da die Oeffnungen B, B so fein sind, dass die Luft nicht an den Seitenwandungen derselben hindurchschlüpfen kann. Das Wasser in der Schale E fährt inzwischen fort aus dem Loche O in die darunter befindliche Schale abzufliessen, so dass in Ermangelung eines Zuflusses sein Niveau immer tiefer sinkt und bald der Punkt kommt, wo es unter die Mündung D des Verbindungsrohres CD' gelangt und damit diese Mündung selbst frei wird. Jetzt hat die atmosphärische Luft wieder Zutritt zu dem oberen Theile des Gefässes; das Wasser beginnt wieder aus den Oeffnungen B, B auszufliessen, das Niveau steigt wieder in der Schale E, versperrt nach kurzer Zeit abermals der atmosphärischen Luft den Zutritt zu dem Gefässe A und unterbricht das Ausfliessen des Wassers von Neuem. Auf diese Weise dauert das Spiel des intermittirenden Ausflusses so lange fort, als noch Wasser in dem Gefässe A enthalten ist.

89 **Intermittirende Quellen.** In verschiedenen Gegenden kommen natürliche Quellen vor, aus denen das Wasser in längeren oder kürzeren Perioden intermittirend fliesst. Es lässt sich diese Erscheinung auf folgende Weise erklären.

Denken wir uns in einem Gefässe, Fig. 117, ein heberförmig gebogenes Rohr C so angebracht, dass das untere Ende desselben mit der äusseren atmosphärischen Luft stets in Verbindung bleibt. Giesst man Wasser in dieses Gefäss, so dringt es in den kürzeren Schenkel des Rohres ein; sobald das Niveau den höchsten Punkt C erreicht hat und etwas darüber hinaus geht, ist auch der Heber ganz angefüllt und fliesst so lange, bis das Niveau AB unter die Mündung des kürzeren Schenkels gesunken ist. Lässt man daher, wie in Fig. 118, den kürzeren Schenkel des Hebers bis dicht auf den Boden

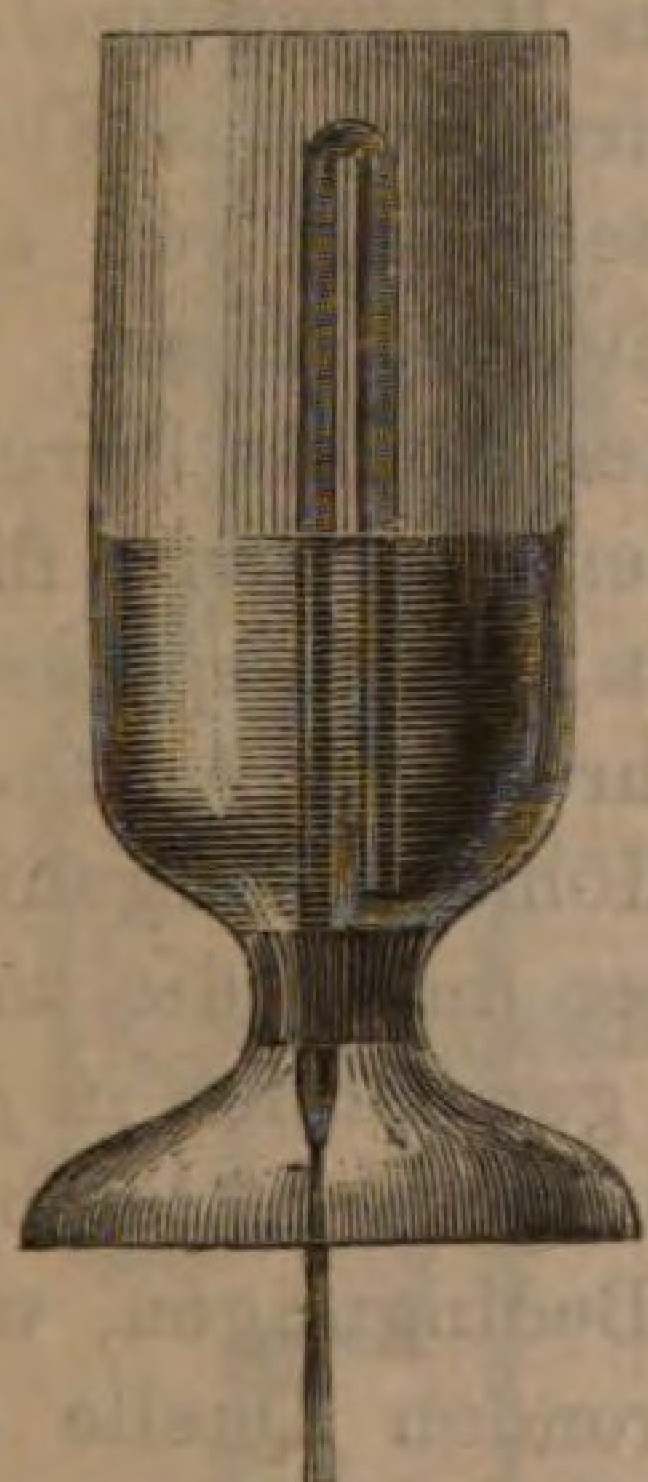
Fig. 117.



des Gefässes hinabgehen, so fliesst, wenn einmal der Heber sich angefüllt und zu fliessen begonnen hat, alles in dem Gefässe enthaltene Wasser durch die Mündung des längeren Schenkels aus.

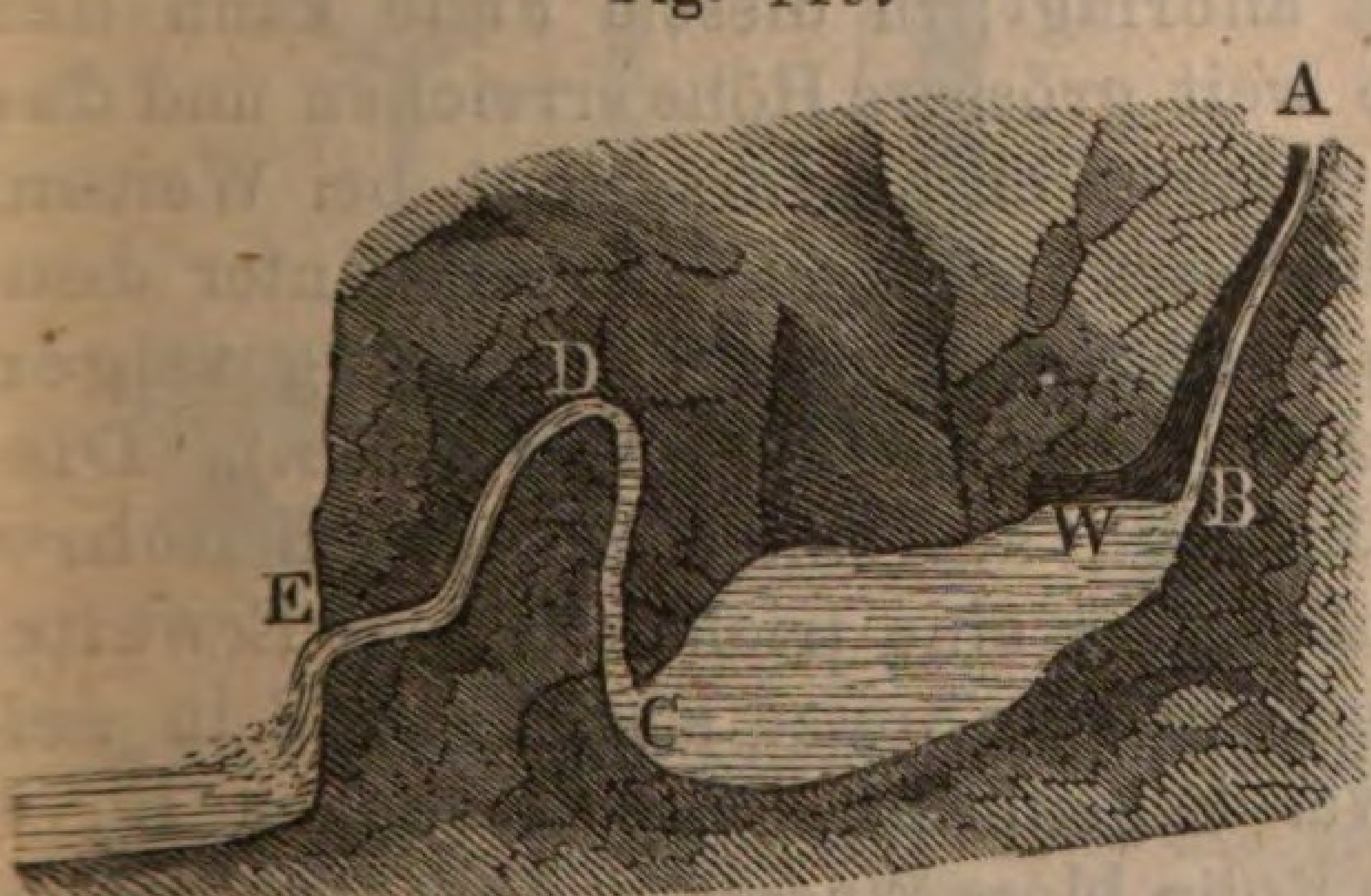
Um mittelst einer solchen Vorrichtung einen intermittirenden Ausfluss darzustellen, braucht man nur ununterbrochen einen dünnen Wasserstrahl in das Gefäss zu leiten, der demselben weniger Wasser zuführt, als durch den Heber abfliessen kann. Das Gefäss füllt sich dann nach und nach, und das Niveau steigt immer höher, bis der Heber sich gefüllt hat und zu fliessen beginnt. Da nun der Zufluss des Wassers geringer ist als der Abfluss, so sinkt das Niveau des Wassers im Gefässe immer tiefer, bis es unter die Oeffnung des kürzeren Schenkels gesunken und damit das Fliessen des Hebers unterbrochen ist. Durch den fortdauernden Zufluss des Wassers füllt sich nun das Gefäss langsam wieder, der Heber kann jedoch nicht eher wieder anfangen zu fliessen, bis das Niveau seinen höchsten Punkt C überschritten hat, worauf dann das Fliessen von Neuem beginnt.

Fig. 118.



Die natürlichen intermittirenden Quellen entstehen durch ähnliche Verhältnisse, welche sich im Innern der Erde vorfinden. Denken wir uns im Innern eines Berges eine Höhlung CW, Fig. 119, welche, sei es durch allmälige Infiltration oder durch dünne Gesteinsspalten AB einen ununterbrochenen Zufluss von Wasser erhält; nehmen wir ferner an, dass diese Höhlung durch eine anfangs aufsteigende und dann wieder herabgehende, im Ganzen also heberförmig verlaufende Ader CDE frei nach aussen communicire, so wird das Wasser sich zuerst in die-

Fig. 119.

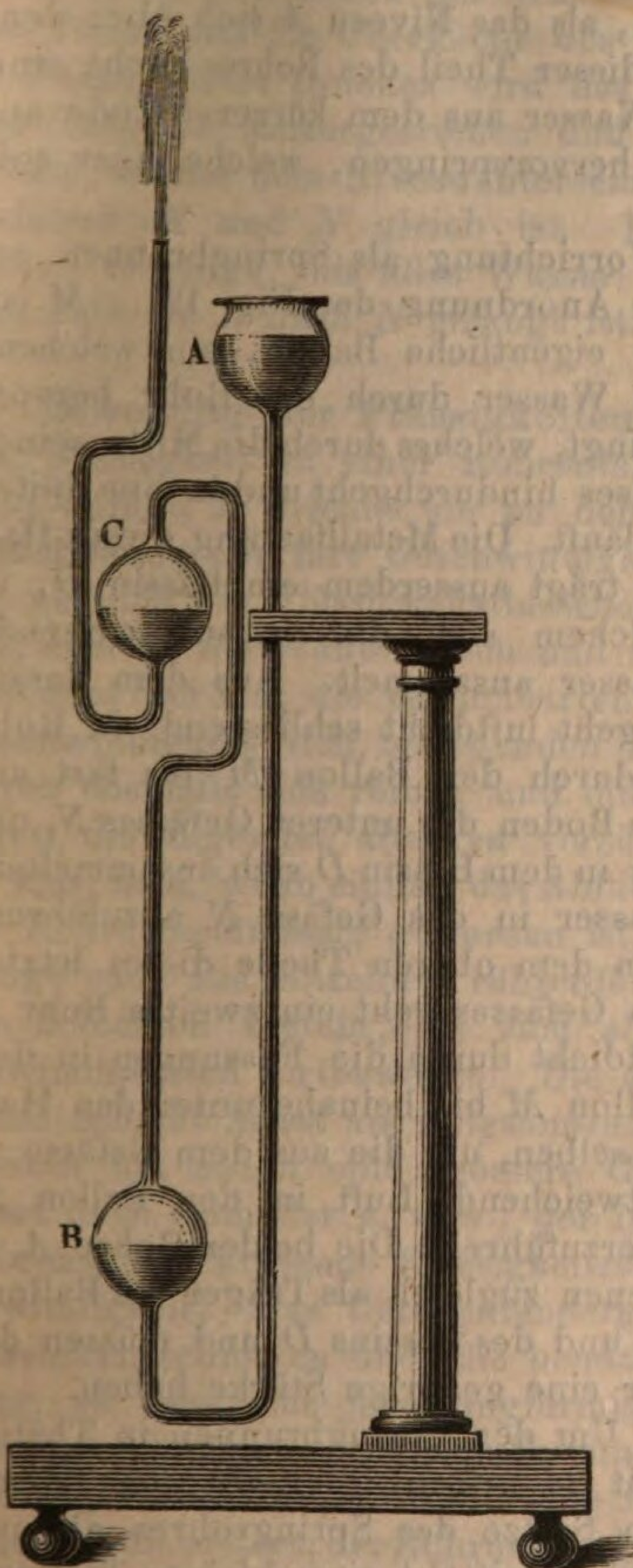


ser Höhlung ansammeln, bis sein Niveau den höchsten Punkt *D* der heberförmigen Ader erreicht hat. Indem immer mehr Wasser zufliesst, füllt sich der Heber ganz an und beginnt zu fliessen. Das Fliessen der Quelle dauert offenbar so lange, bis der Wasserspiegel im Innern der Höhlung unter die Mündung *E* der Ader gesunken ist, worauf sich diese von selbst entleert und die Quelle aufhört zu fliessen. Durch den Zufluss des Wassers von *A* her füllt sich die Höhlung nach und nach wieder, bis der Heber wieder voll wird und das Fliessen der Quelle von Neuem beginnt. Es versteht sich von selbst, dass auch hier die Quelle nur dann intermittirend fliesst, wenn der Zufluss des Wassers geringer ist, als der Abfluss durch die heberförmige Ader. Der Heber kann ferner nur dann fliessen und die Höhlung entleeren, wenn auf den Wasserspiegel der Höhle der Luftdruck frei einwirken und während des Ausfliessens die äussere atmosphärische Luft zu der Höhlung ungehindert hinzutreten kann; diese Bedingung wird aber durch die zahlreichen Zerklüftungen und Spalten, welche sich gewöhnlich in jedem Gesteine vorfinden, vollständig erfüllt. Uebrigens ist leicht einzusehen, dass sich die genannten einzelnen Bedingungen, welche für das Zustandekommen einer intermittirenden Quelle erforderlich sind, bald mehr, bald weniger vollkommen von selbst und durch das blosse Spiel des Zufalls leicht zusammenfinden können.

90 **Der Heronsbrunnen.** Lässt man in der Weise, wie in Fig. 99 (S. 137), einen verticalen Wasserstrahl aus einem Behälter in die Höhe springen, so kann er höchstens bis zu dem Niveau der Flüssigkeit in dem Behälter steigen. Anders ist es, wenn man die Flüssigkeit in zwei Theile theilt und zwischen beide eine Quantität Luft anbringt; in diesem Falle kann der aufspringende Strahl eine weit grössere Höhe erreichen und das Niveau des Gefässes, aus welchem er hervorspringt, bei Weitem übersteigen. Es lässt sich dieses leicht mit Hülfe der unter dem Namen des Heronsbrunnen bekannten Vorrichtung zeigen (Heron lebte zu Alexandrien um das Jahr 120 vor Chr.). Dieselbe besteht, wie Fig. 120 zeigt, aus einem gebogenen Rohre, welches an dem einen Ende *A* in eine trichterförmige Erweiterung, an dem anderen Ende in eine Spitze ausläuft, und in seinem mittleren Theile zwei kugelförmige Erweiterungen *B*, *C* enthält. Enthielte dieses Rohr bloss Wasser und reichte dieses auf der rechten Seite bis in den Trichter *A*, so müsste es nach

dem Princip der communicirenden Röhren auf der linken Seite eine gleiche Höhe wie in *A* erreichen. Richten wir es aber so ein, dass das Wasser nur von *A* bis *B* reicht, hierauf von *B* bis *C* eine Quantität Luft eingeschlossen und der Rest des Rohres von *C* an wieder mit Wasser gefüllt ist, so stellt sich die Sache durch die Dazwischenkunft der Luft wesentlich anders. Das Wasser des Rohres *A* sinkt durch sein Gewicht in die Kugel *B* herab und treibt die oberhalb des Wassers in *B* befindliche Luft vor sich her in die Kugel *C*; der Druck der comprimirten Luft in *C* wirkt auf die Oberfläche des in dieser Kugel enthaltenen Wassers und treibt dieses mit einer um so grösseren Kraft aus der Spitze des Rohres heraus, je grösser der Druck des von *A* nach *B* sinkenden Wassers ist. Man kann nämlich die beiden Wasserflächen in *B* und *C* als Theile der festen Wand ansehen, von welcher die Luft zwischen *B* und *C* eingeschlossen ist; es übt dann diese Luft in Folge ihrer Expansivkraft auf die einzelnen Punkte dieser Flächen einen gleichen Druck aus, vorausgesetzt, dass man das Gewicht dieser Luftmasse als verschwindend klein ansehen kann.

Fig. 120.



Der Druck auf die Oberfläche des Wassers in *C* ist daher gleich dem Druck einer auf dieser Oberfläche direct stehenden Wassersäule, deren Höhe gleich ist dem Unterschiede der Niveaus

in *A* und *B*. Hieraus folgt, dass, wenn die von *C* aus abwärts gehende und dann vertical links nach oben sich erstreckende Röhre hinlänglich lang wäre, das Wasser darin so hoch über dem Niveau *C* stehen würde, als das Niveau *A* sich über dem Niveau *B* erhebt. Hat nun dieser Theil des Rohres nicht eine solche Länge, so muss das Wasser aus dem kürzeren Ende annähernd bis zu einer Höhe hervorspringen, welche einer solchen Länge entspricht.

Um die beschriebene Vorrichtung als Springbrunnen zu benutzen, giebt man ihr die Anordnung der Fig. 121. *M* ist der eigentliche Ballon, aus welchem das Wasser durch ein Rohr hervorspringt, welches durch die Mitte seines Halses hindurchgeht und in eine Spitze ausläuft. Die Metallfassung dieses Halses trägt ausserdem ein Bassin *D*, in welchem sich das herausspringende Wasser ansammelt. Aus dem Bassin *D* geht luftdicht schliessend ein Rohr *B* durch den Ballon *M* bis fast auf den Boden des unteren Gefässes *N*, um das in dem Bassin *D* sich ansammelnde Wasser in das Gefäss *N* abzuführen. Von dem oberen Theile dieses letzteren Gefässes geht ein zweites Rohr *A* luftdicht durch die Fassungen in den Ballon *M* bis beinahe unter den Hals desselben, um die aus dem Gefässe *N* entweichende Luft in den Ballon *M* überzuführen. Die beiden Rohre *A*, *B* dienen zugleich als Träger des Ballons *M* und des Bassins *D* und müssen daher eine gehörige Stärke haben.

Fig. 121.



Um den Springbrunnen in Thätigkeit zu setzen, schraubt man zuerst die Spitze des Springrohres ab und füllt vermittelst eines kleinen Trichters durch dieses Springrohr den Ballon *M* beinahe ganz mit Wasser an. Hierauf schraubt man die Spitze wieder auf das Springrohr und giesst in das obere Bassin so viel Wasser, dass damit das Rohr *B* angefüllt wird. Indem dieses Wasser durch das Rohr *B* in das untere

Gefäss *N* abfliesst, wird die Luft aus diesem Gefässe durch das Rohr *A* nach dem Ballon *M* hin verdrängt; die Luft in *A* steht dann unter dem Druck der Wassersäule in *B* und pflanzt diesen Druck auf die Oberfläche des Wassers im Ballon *M* fort. In Folge dieses Druckes wird das Wasser des Ballons durch das Steigrohr hinausgetrieben und nahezu auf eine Höhe gehoben, welche dem Niveauunterschiede des Wassers in beiden Gefässen *M* und *N* gleich ist. Das Springen des Wassers dauert so lange, bis alles Wasser aus *M* entleert und durch das Fallrohr *B* nach *N* gelangt ist.

Bewegung der Flüssigkeiten in Röhren. Wenn sich 91
eine Flüssigkeit in einer Röhrenleitung bewegt und dieselbe ganz anfüllt, so erleidet sie an den Wänden der Röhre einen Widerstand, der ihre Geschwindigkeit bedeutend vermindert. Da nämlich die Flüssigkeitstheilchen, welche die Wand berühren, sich an der Wand reiben und dadurch in ihrer Bewegung gehemmt werden, die benachbarten und mit einer grösseren Geschwindigkeit sich bewegenden Theilchen aber an den ersteren ebenfalls sich reiben und einestheils diese zu beschleunigen, die folgenden aber zu verzögern streben u. s. w., so ist klar, dass, wenn einmal das Abfliessen der Flüssigkeit durch die Röhre regelmässig geworden ist, die ganze Flüssigkeit der Länge nach aus einzelnen röhrenförmig in einander steckenden Schichten besteht, die sich alle mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortbewegen. Die äusserste, die Wand berührende Schicht fliesst am langsamsten; die nächste ringförmige Schicht hat schon eine grössere Geschwindigkeit, die dritte fliesst noch schneller u. s. w.; der innerste, gleichsam in der Röhrenachse fliessende Flüssigkeitsfaden hat die grösste Geschwindigkeit. Das Uebereinandergleiten einer jeden dieser Flüssigkeitsschichten über die benachbarten erzeugt eine Reibung, so dass eine jede ringförmige Schicht eine zweifache Reibung erleidet, von denen die eine auf die Aussenseite verzögernd, die andere auf die innere Seite beschleunigend wirkt. Da jedoch die erstere, der Röhrenwand zunächst gelegene Reibung überwiegt, so bleibt schliesslich für jede Schicht noch eine Reibung übrig, welche ihre Bewegung zu verzögern strebt. Diese einzelnen Reibungen setzen sich zu einem Gesammtwiderstande zusammen, welcher bewirkt, dass die durch die Röhre in einer bestimmten Zeit abfliessende Flüssigkeitsmenge verringert wird.

92 Die einzelnen Punkte in irgend einem Querschnitt der in einer Röhre sich bewegenden Flüssigkeit haben also verschiedene Geschwindigkeiten; diese sind am kleinsten in der Nähe der Röhrenwand, sie werden um so grösser, je mehr sie sich von der Wand entfernen, und sind in der Achse der Röhre am grössten. Die in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Secunde, durch diesen Querschnitt gehende Flüssigkeitsmenge ist offenbar abhängig von diesen einzelnen Geschwindigkeiten. Hätten die sämmtlichen Theile dieses Querschnittes alle dieselbe Geschwindigkeit v, so würde man die Flüssigkeitsmenge M, welche in einer Secunde diesen Querschnitt passirt, erhalten, wenn man die Grösse des Querschnittes F mit dieser Geschwindigkeit multiplicirt. Es wäre alsdann:

$$M = F \cdot v, \text{ oder auch}$$

$$v = \frac{M}{F}.$$

Da aber in der Wirklichkeit die einzelnen Theile des Querschnittes F nicht alle dieselbe Geschwindigkeit v haben, so lässt sich auch durch die vorstehende Formel die wahre Flüssigkeitsmenge, welche in einer Secunde durch diesen Querschnitt hindurchgeht, nicht berechnen. Ebenso wenig findet man die wahre Geschwindigkeit v der Flüssigkeit, wenn man die in einer Secunde beobachtete Ausflussmenge M durch die Grösse F des Querschnittes dividirt, da ja die Geschwindigkeit nicht für alle Theile des Querschnittes dieselbe ist. Diese Zahl v giebt vielmehr eine mittlere Geschwindigkeit, nämlich diejenige Geschwindigkeit, welche die Flüssigkeit haben müsste, um die Ausflussmenge M zu liefern, wenn alle Theile des Querschnittes F dieselbe Geschwindigkeit gehabt hätten. Man meint daher auch allemal diese Zahl $\left(\frac{M}{F}\right)$, wenn man von der Geschwindigkeit einer Flüssigkeit spricht, welche durch eine Röhre von bestimmtem Querschnitte hindurchströmt. Wenn z. B. in einer Secunde 3 Quart oder 192 Kubikzoll Wasser durch einen Querschnitt von 24 Quadratzoll hindurchfliessen, so sagt man, das Wasser bewege sich durch diesen Querschnitt mit einer Geschwindigkeit von $\frac{192}{24} = 8$ Zoll.

93 Wenn die Röhre, durch welche sich eine Flüssigkeit bewegt, überall denselben Querschnitt hat, so muss auch die

Geschwindigkeit der Flüssigkeit in jedem Querschnitte der Röhrenleitung gleich gross sein. Denn da die zwischen zwei solchen Querschnitten enthaltene Flüssigkeitsmenge unveränderlich ist, so muss auch die Flüssigkeitsmenge, welche durch einen dieser Querschnitte in den gedachten Zwischenraum einfliesst, ebenso gross sein als die, welche durch den anderen Querschnitt abfliesst, was nur dann der Fall sein kann, wenn die Geschwindigkeiten in beiden Querschnitten dieselben sind. Die einzelnen Flüssigkeitstheilchen bewegen sich daher, jedes für sich betrachtet, mit einer gleich bleibenden Geschwindigkeit, ihre Bewegung ist also eine gleichförmige. Die nothwendige Folge hiervon ist, dass sich die einzelnen auf die Flüssigkeitstheilchen wirkenden Kräfte das Gleichgewicht halten. Nimmt man statt eines einzelnen Flüssigkeitstheilchens die ganze zwischen zwei sehr nahe aufeinander folgenden Querschnitten der Röhre enthaltene Flüssigkeitsmenge, so muss offenbar auch für diese das Gleichgewicht zwischen allen darauf wirkenden Kräften bestehen. Diese Kräfte sind aber dreifacher Art:

1. Wenn die Achse der Röhre in dem Theile, welcher das gedachte Flüssigkeitsstück enthält, gegen den Horizont geneigt ist, so befindet es sich auf einer geneigten Ebene und unterliegt der Wirkung einer aus der Zerlegung der Schwerkraft (des Gewichtes der Flüssigkeit) hervorgehenden Seitenkraft, welche parallel zu der schiefen Ebene wirkt und die Flüssigkeit abwärts zu bewegen strebt. I. §. 120.

2. Die Druckkräfte, welche das Flüssigkeitsstück auf den beiden Querschnitten erleidet, durch welche es mit der benachbarten Flüssigkeit in Berührung steht und die einander der Richtung nach entgegengesetzt sind, setzen sich zu einer einzigen Kraft zusammen, welche gleich dem Unterschiede der beiden einzelnen Kräfte ist und die in der Richtung der grösseren Kraft wirkt.

3. Die verschiedenen Reibungen zwischen den einzelnen übereinander gleitenden Flüssigkeitsschichten, von denen bereits die Rede gewesen ist, vereinigen sich ebenfalls zu einer einzigen Kraft, welche stets der Richtung der Bewegung entgegen wirkt.

Die erste dieser Kräfte wirkt in der Richtung der Bewegung, wenn sich die Flüssigkeit in dem geneigten Theile der Röhre abwärts bewegt; sie wirkt der Richtung der Bewegung entgegen, wenn die Flüssigkeit in dem geneigten Röhrentheile

in die Höhe steigt; sie ist Null, wenn die Röhre an der Stelle, wo sich das Flüssigkeitsstück befindet, horizontal ist. Die zweite Kraft wirkt in der Richtung der Bewegung oder in der entgegengesetzten Richtung, je nachdem der gegen den hinteren Querschnitt des Flüssigkeitsstückes gerichtete Druck grösser oder kleiner ist als der Druck, welchen der vorangehende Querschnitt erleidet; sie ist Null, wenn diese beiden Druckkräfte einander gleich sind. Da die dritte Kraft, die Resultirende aus allen Reibungen der einzelnen röhrenförmigen Flüssigkeitsschichten untereinander und an den Röhrenwänden, stets der Richtung der Bewegung entgegenwirkt, so muss wenigstens eine der beiden anderen Kräfte in der Richtung der Bewegung wirken, da sonst die drei genannten, auf das in gleichförmiger Bewegung befindliche Flüssigkeitsstück wirkenden Kräfte sich nicht das Gleichgewicht halten könnten. In allen Fällen muss übrigens die Summe aus den beiden Kräften, welche nach einer und derselben Richtung wirken, gleich sein der dritten Kraft, welche nach der entgegengesetzten Richtung wirkt.

94 Aus der Beobachtung der Bewegung einer Flüssigkeit in einer Röhrenleitung lässt sich die Grösse und die Richtung einer jeden der beiden ersteren Kräfte für jedes zwischen zwei bestimmten Querschnitten enthaltene Flüssigkeitsstück leicht bestimmen. Um die erstere Kraft zu erhalten, berechnet man zunächst das zwischen den Querschnitten enthaltene Volumen der Flüssigkeit und findet hieraus ihr Gewicht; das Gewicht (eine vertical wirkende Kraft) wird dann nach I. §. 120 in zwei Seitenkräfte zerlegt, von denen die eine in der Richtung der Röhrenachse, die andere senkrecht dagegen wirkt; die erstere Seitenkraft ist dann die gesuchte Kraft. Die zweite der genannten Kräfte findet man durch Bestimmung des Druckes, welchen eine jede der beiden Gränzflächen des Flüssigkeitsstückes erleidet; zu diesem Zwecke setzt man in zwei einander entsprechenden Punkten dieser beiden Gränzflächen verticale Glasröhren, P i ë z o m e t e r genannt, auf das Leitungsrohr und beobachtet die Höhe, bis zu welcher in jeder Röhre die Flüssigkeit durch den in dem tiefsten Punkte der Glasröhre im Innern des Leitungsrohres vorhandenen Druck gehoben wird. Aus der vorhin ausgesprochenen Bedingung für das Gleichgewicht zwischen den drei auf das Flüssigkeitsstück wirkenden Kräften lässt sich dann schliesslich auch die Grösse

der dritten Kraft, nämlich der durch die Reibung erzeugte Widerstand leicht ableiten.

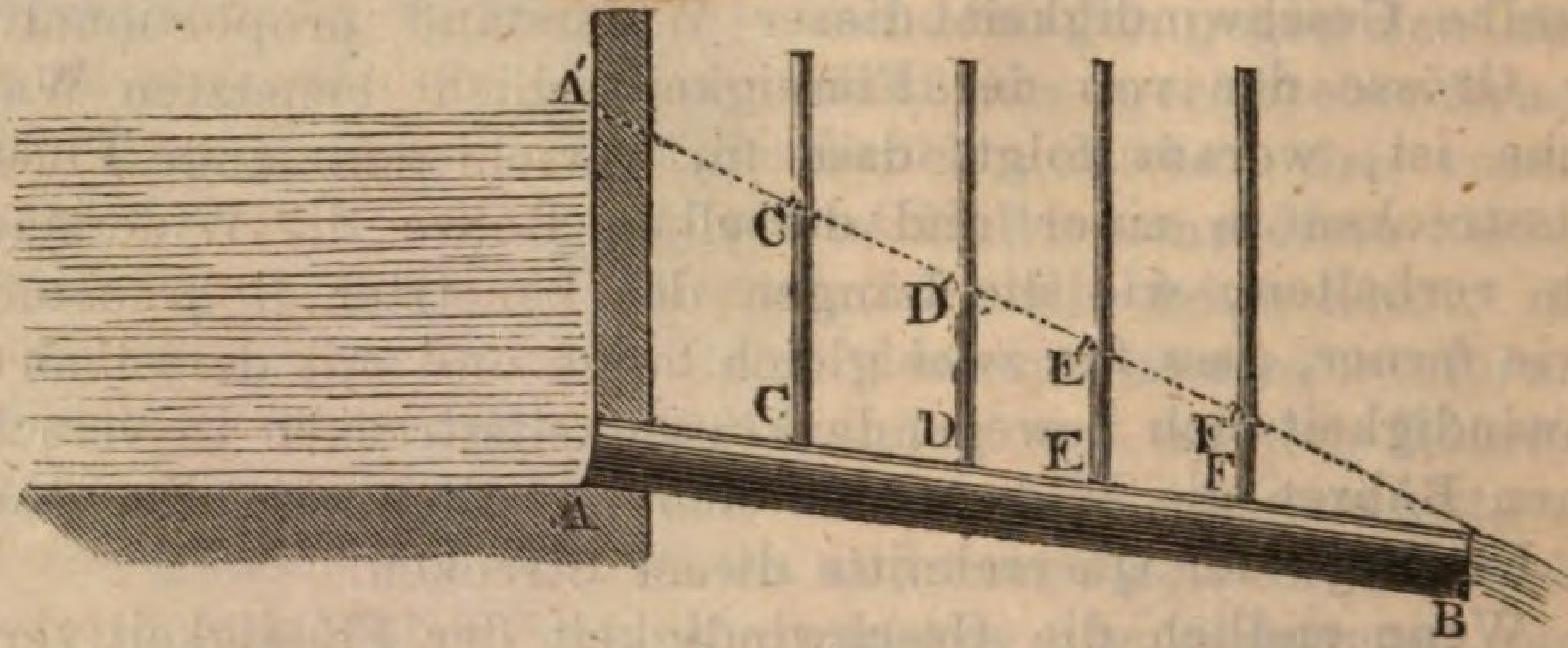
Zahlreiche Versuche haben ergeben, dass für eine und dieselbe Geschwindigkeit dieser Widerstand proportional zu der Grösse der von der Flüssigkeitsschicht benetzten Wandfläche ist, woraus folgt, dass für verschieden lange Flüssigkeitsstrecken in einer und derselben Röhre die Widerstände sich verhalten, wie die Längen der benetzten Röhrenstücke, sowie ferner, dass für zwei gleich lange und mit derselben Geschwindigkeit sich bewegende Flüssigkeitsstrecken in verschiedenen Röhren die Widerstände sich verhalten, wie die benetzten Umfänge der Querschnitte dieser Strecken.

Wenn endlich die Geschwindigkeit der Flüssigkeit veränderlich ist, so verändert sich auch der durch die Reibung erzeugte Widerstand, ganz im Gegensatze zu dem, was bei der Reibung zweier fester Körper geschieht. Für eine und dieselbe Berührungsfläche zwischen der Flüssigkeit und der Röhrenwand ist der Widerstand, den die Flüssigkeitsstrecke erleidet, um so grösser, je grösser die Geschwindigkeit der Flüssigkeit ist. Bezüglich des Gesetzes, nach welchem der Widerstand sich mit der Geschwindigkeit ändert, kann man annehmen, dass der Widerstand die Summe zweier Kräfte ist, von denen die eine proportional zu der Geschwindigkeit der Flüssigkeit, die andere aber proportional zu dem Quadrate dieser Geschwindigkeit ist. Wenn daher die Geschwindigkeit zwei-, drei-, viermal so gross wird, als sie anfangs war, so ändert sich der Widerstand, den das Flüssigkeitsstück erleidet, in einem Verhältnisse, das grösser ist, als das der Zahlen 2, 3, 4 . . ., aber er ändert sich nicht in einem ebenso grossen Verhältnisse, als die Quadratzahlen 4, 9, 16 . . .

Der Druck im Innern einer Flüssigkeit, welche sich gleich- 95
förmig in einer Röhrenleitung bewegt, ändert sich im Allgemeinen von einem Querschnitt zum anderen. Die Grösse dieser Aenderung wird durch die Bedingung, unter der das Gleichgewicht des zwischen diesen beiden Querschnitten enthaltenen Flüssigkeitsstückes stattfindet, bestimmt. Nehmen wir z. B. an, dass es sich um ein geradliniges Rohr AB, Fig. 122 (a. f. S.), handle, durch welches das Wasser eines Reservoirs gleichförmig abfliesst. Wenn wir die in den Punkten C, D, E, F im Innern der Röhre stattfindenden Druckkräfte unter einander vergleichen, so finden wir sie den zwischen diesen Punkten

gelegenen Strecken CD, DE, EF proportional. Denken wir uns daher durch die Punkte C, D, E, F der Röhre Querschnitte

Fig. 122.



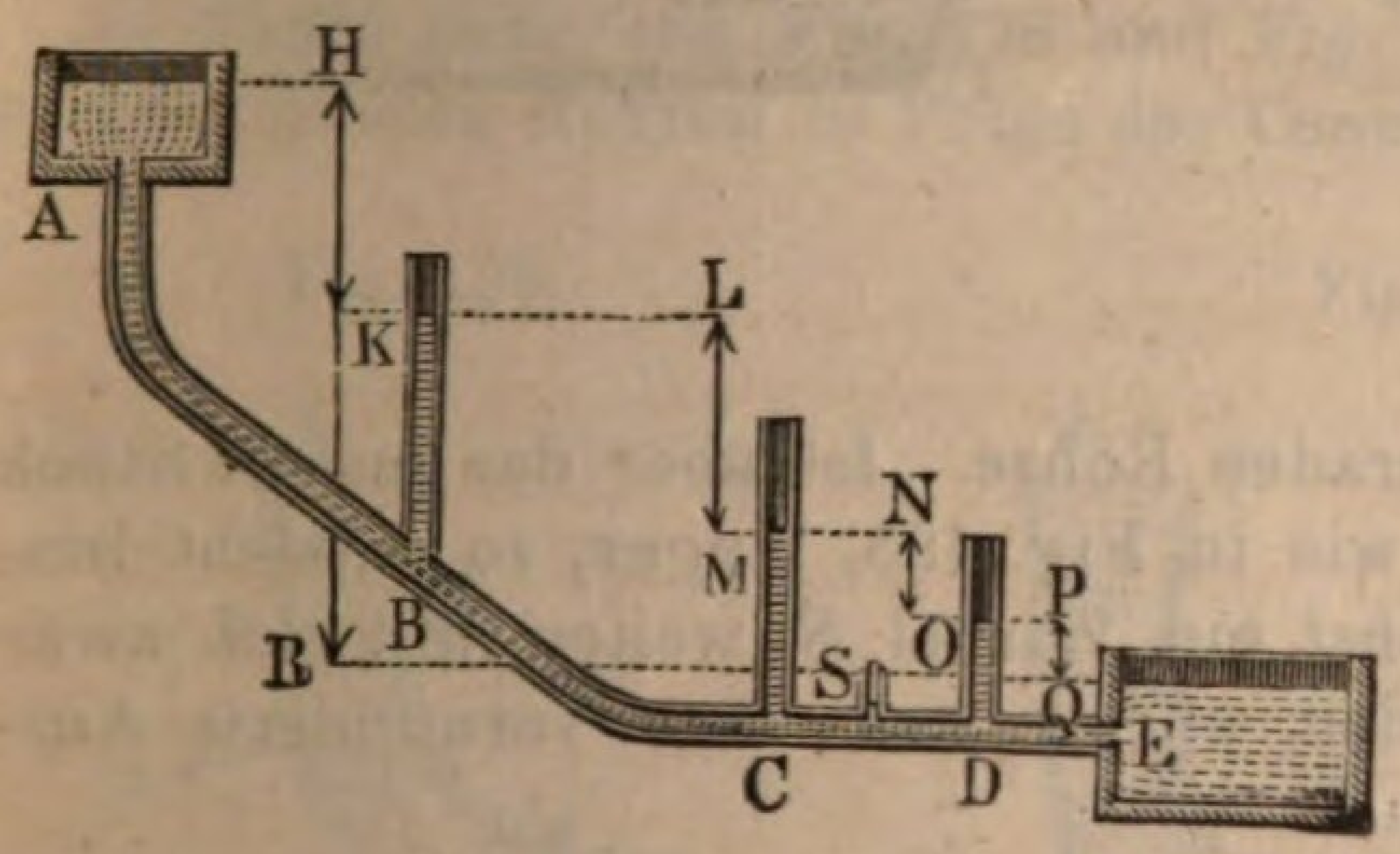
durch die Flüssigkeit gelegt, so sind die Gewichte der Flüssigkeitsstücke CD, DE, EF proportional zu ihren Längen; die Seitenkräfte dieser Gewichte in der Richtung der Achse des Rohres sind dann ebenfalls diesen Längen proportional, weil das Rohr geradlinig ist und daher überall dieselbe Neigung hat. Andererseits sind die Widerstände, welche diese einzelnen Flüssigkeitsstücke bei ihrer Bewegung erleiden, ebenfalls proportional zu den Längen der Röhrentheile, an denen sie sich reiben (§. 94). Aus der Bedingung, unter welcher zwischen den auf ein jedes dieser Flüssigkeitsstücke wirkenden Kräften das Gleichgewicht besteht (§. 93), folgt daher, dass die Unterschiede der Druckkräfte, welche in den begränzenden Querschnitten herrschen, ebenfalls den Längen der Flüssigkeitsstücke proportional sein müssen; die Unterschiede der Pressungen in C und in D, in D und in E, in E und in F, müssen folglich dasselbe Verhältniss zu einander haben, wie die Längen CD, DE, EF. Wenn diese Längen CD, DE, EF einander gleich sind, so ändert sich auch der Druck ebenso von C bis D, wie von D bis E und von E bis F.

Um den in den Punkten C, D, E, F herrschenden Druck zu messen, setzt man, wie bereits gesagt wurde, in diesen Punkten verticale Glasröhren, Piëzometer, auf das Leitungsrohr. Der Ueberschuss des Druckes über den Druck der atmosphärischen Luft wird dann für jeden der genannten Punkte durch die Höhe der in dieser Glasröhre stehenden Wassersäule gemessen. Es ist nach dem vorhin Gesagten leicht einzusehen, dass die Endpunkte C', D', E', F' dieser Wassersäulen in einer geraden Linie liegen müssen, und dass diese Linie genugsam verlängert durch den Endpunkt B der Röhre und durch einen

Punkt A' des Wasserspiegels im Reservoir gehen muss, welcher vertical über dem Anfangspunkt A des Rohres liegt. Die Erfahrung bestätigt die Richtigkeit dieser Schlüsse vollständig.

Ueberhaupt kann man die Druckverluste, welche das Wasser in einer Röhrenleitung durch Reibung, Verengungen u. s. w. erleidet, durch Wassersäulen messen, welche in senkrecht aufgesetzten Piëzometerröhren von dem wirklich vorhandenen Druck getragen werden. Ist in Fig. 123 A das Wasserreservoir, $ABCDE$ die Röhrenleitung, so ist der Druckverlust auf der Strecke AB der Unterschied HK der beiden von B bis zu den Niveaus H und K reichenden Höhen. Da der wirkliche Druck des Wassers in B und C durch die Höhen BK und CM der daselbst getragenen Wassersäulen gemessen wird, so ergiebt sich aus der Differenz dieser Höhen auch der auf dieser Strecke BC stattfindende Druckverlust. Die Piëzometer dienen daher auch dazu, die Widerstände, welche das Wasser in den Röhrenleitungen zu überwinden hat, zu messen. Befindet sich in der Röhre an irgend einer Stelle ein Schieber, wodurch eine Verengung der Röhre entsteht, oder hat sich irgendwo ein fremder Körper darin festgesetzt, der der freien Bewegung des Wassers ein Hinderniss entgegenstellt, so wird dieses durch die Piëzometerstände sofort angezeigt.

Fig. 123.



Veränderungen in dem Querschnitte einer Röhre haben auch Veränderungen in der Geschwindigkeit und der Ausflussmenge im Gefolge. Bildet die Röhre, um ihre Richtung zu verändern, wie in Fig. 124 (a. f. S.), ein Knie ACB, so müssen die bei der Biegung C ankommenden Wasserfäden ihre bisherige Richtung AC plötzlich nach der Richtung CB ändern, was, wie wir bereits in §. 83 bezüglich der cylindrischen Ansatzröhren bemerkt haben, allemal von einem Verlust an Arbeit begleitet ist. Ist daher, wie in Fig. 124, das äussere Stück 96

CB der Knieröhre *ACB* kurz, so ist der volle Ausfluss nicht mehr vorhanden und die Ausflussmenge ist kleiner als bei

Fig. 124.

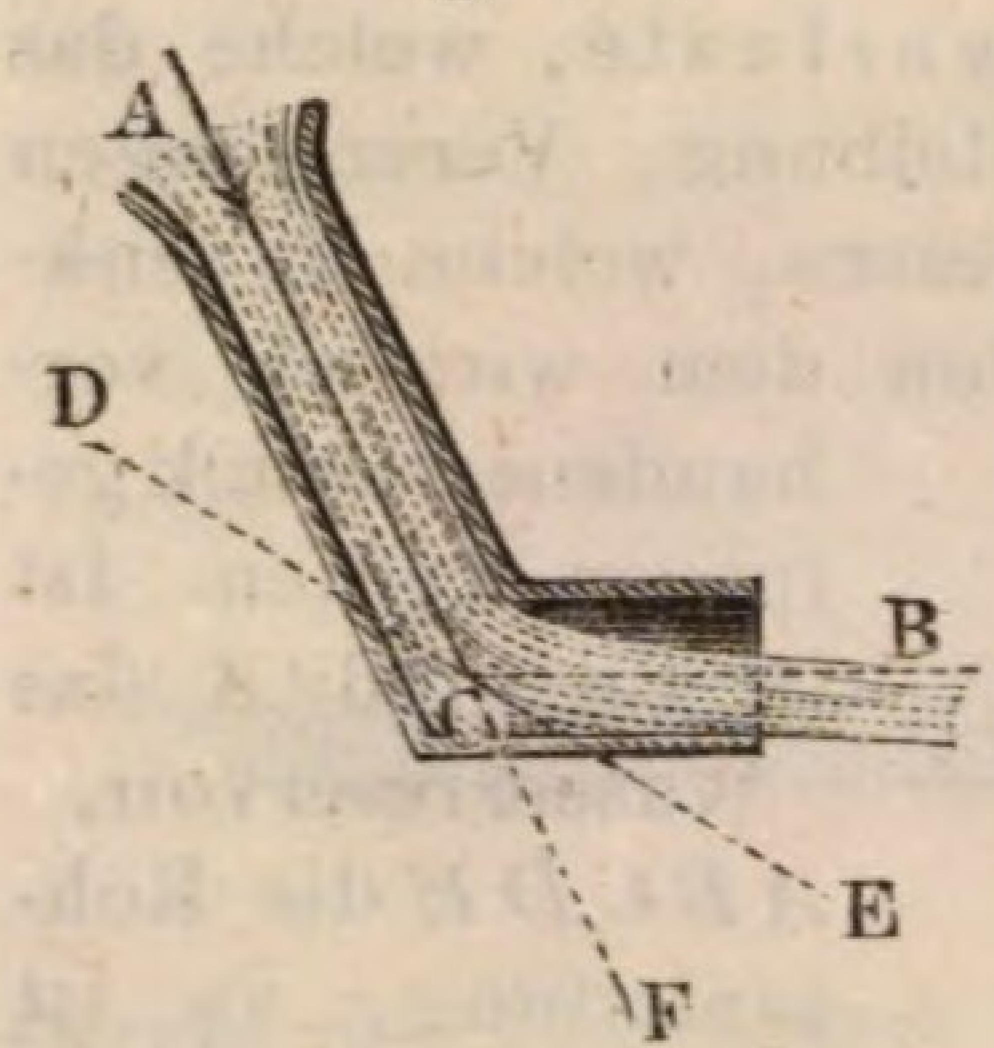
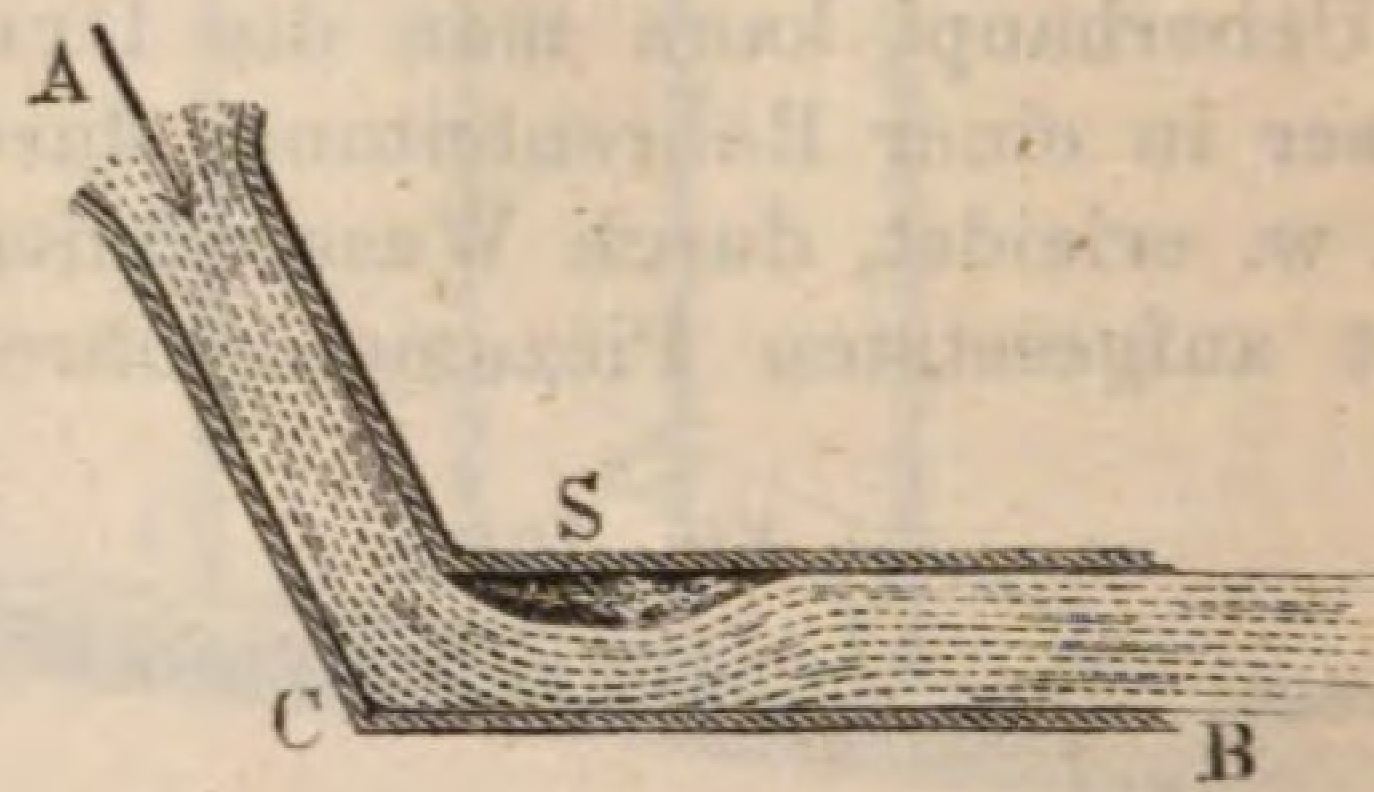


Fig. 125.



einer gleich langen geraden Röhre. Ist aber das äussere Stück *CB* des Knies *ACB*, wie in Fig. 125, länger, so entsteht hinter dem Knie *C* zunächst ein Wirbel *S*, weiter füllt sich zwar die Ausflussröhre wieder, aber es tritt eine verminderte Ausflussgeschwindigkeit ein.

Stösst an ein Knie *ACB*, Fig. 126 und Fig. 127, noch ein zweites Knie *BDE*, so ist zu unterscheiden, ob die Richtungen

Fig. 126.

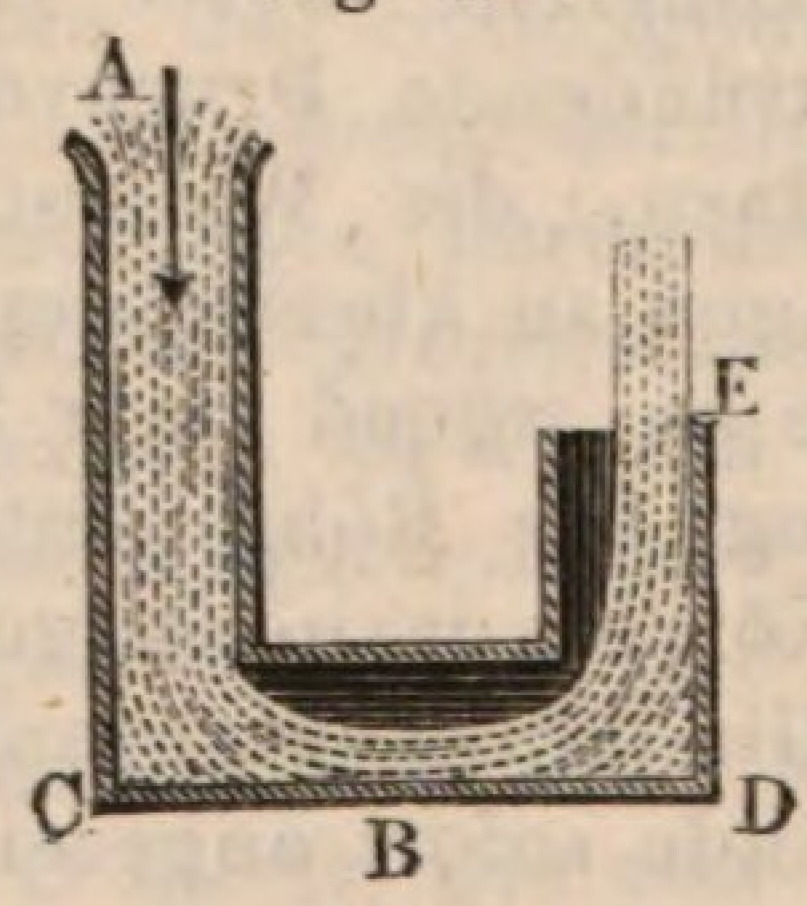
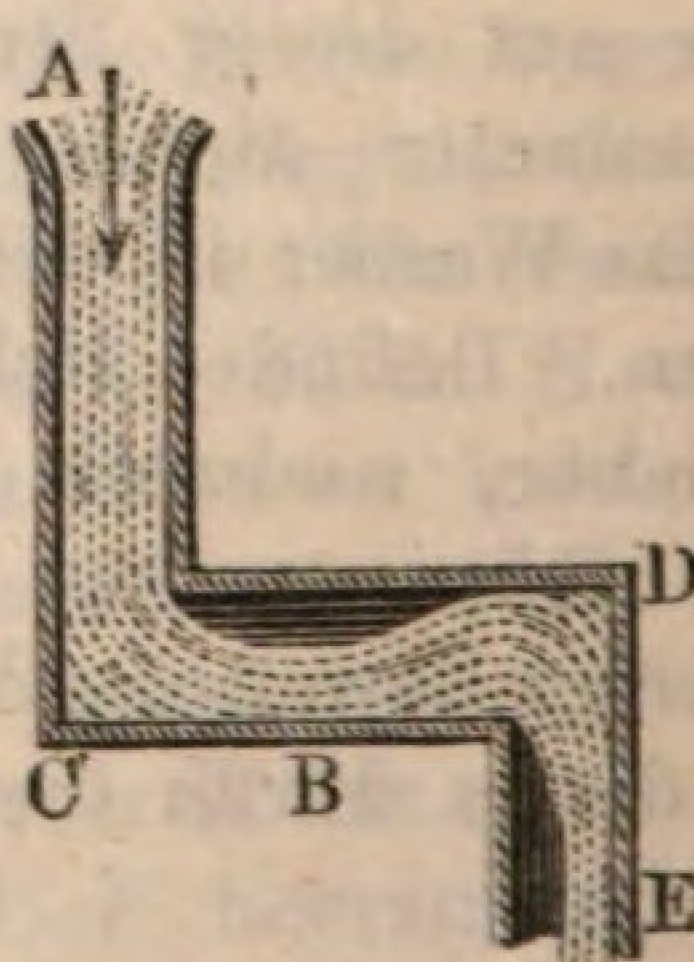


Fig. 127.



AC, *DE* des Ein- und Ausflussrohres dieselben sind oder nicht. Im ersteren Falle, Fig. 126, lenkt das zweite Knie *BDE* den Strahl nach derselben Seite hin ab, wie das erste *ACB*, und bringt keine weitere Contraction des Strahles hervor. Lenkt aber das zweite Knie *BDE*, Fig. 127, den Strahl auf die entgegengesetzte Seite, so ist die Contraction eine doppelte und daher auch die Ausflussmenge weit geringer, als bei einem einzigen Knie.

Hieraus folgt, dass man, um das Wasser in einer mit Knieen versehenen Röhrenleitung mit einer gegebenen Geschwindigkeit bewegen zu können, eine grössere Arbeit aufwenden muss, als wenn die Kniestücke nicht vorhanden sind, und dass man, um diesen Verlust an Arbeit zu vermeiden, dafür sorgen muss, dass die Richtung der in Bewegung befindlichen Wasserfäden sich nur sehr allmälig ändert. Man erreicht letzteres, wenn man statt der Knieröhren gekrümmte Röhren von mässiger Krümmung anwendet.

Es findet zwar, wie Fig. 128 und Fig. 129 zeigen, auch bei den gekrümmten Röhren in Folge der Centrifugalkraft des Was-

Fig. 128.

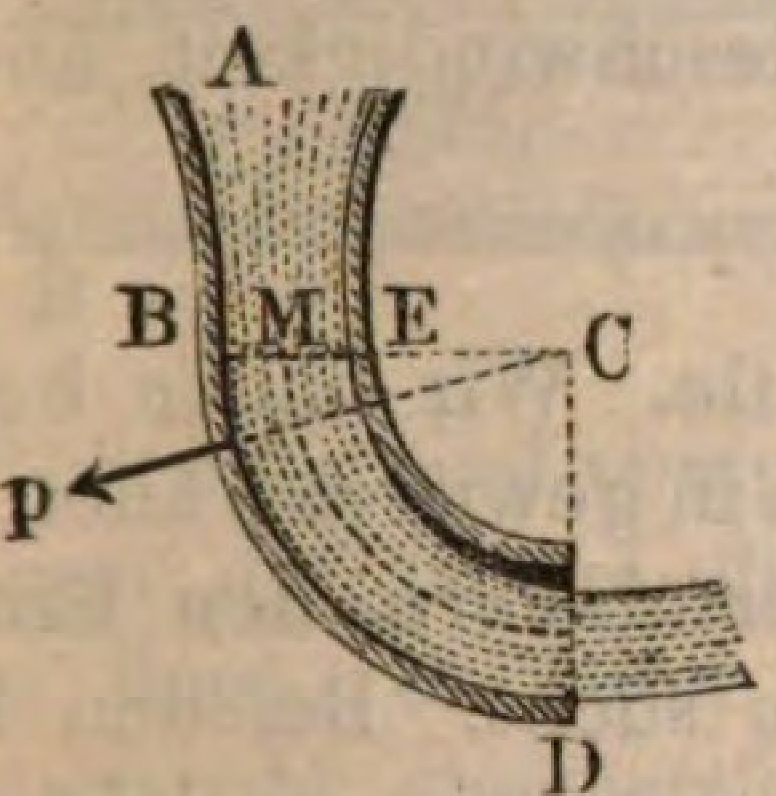
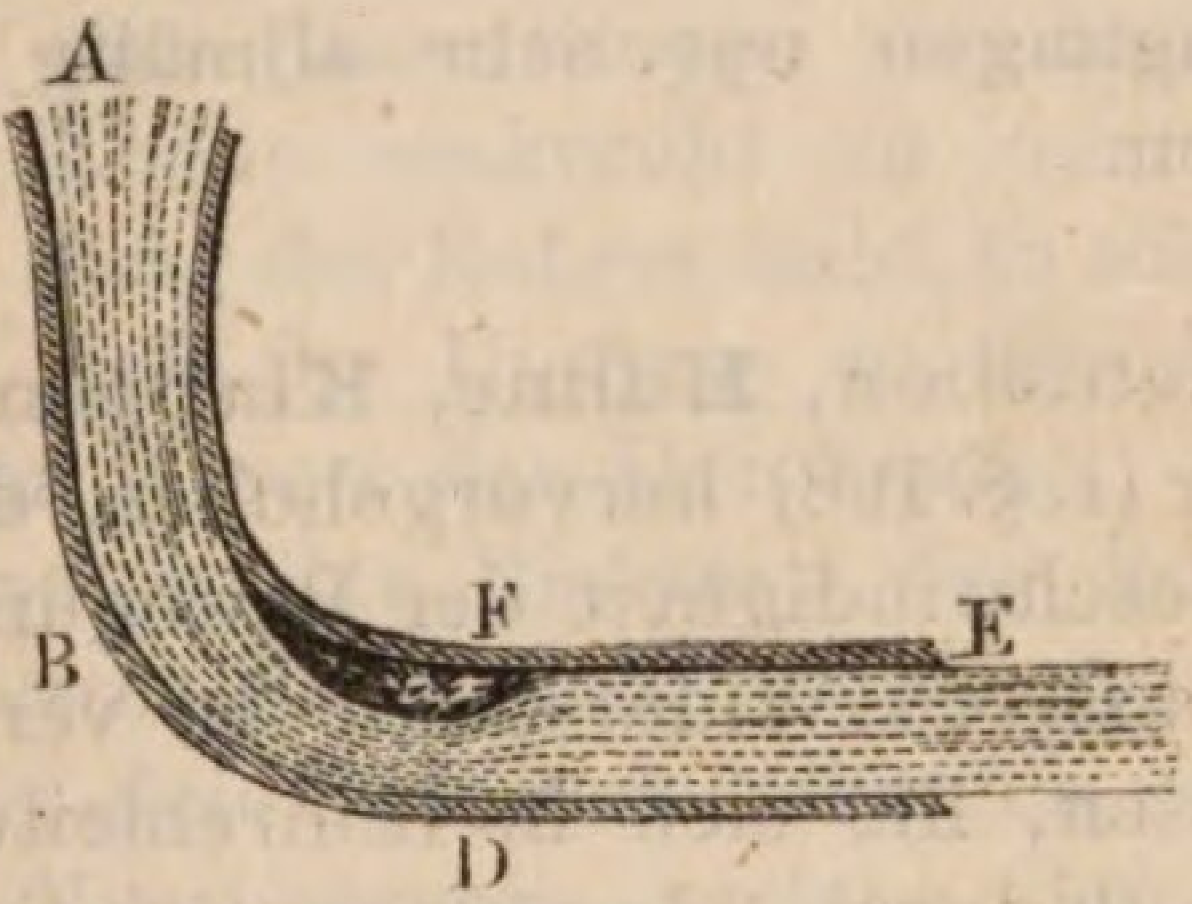


Fig. 129.



sers eine partielle Contraction des Wasserstrahles ABD statt, da die Wassertheilchen in der Richtung Cp, CD sich vom Mittelpunkte C der Krümmung zu entfernen streben, aber diese Contraction ist um so geringer, je weniger die Krümmung der Röhre von der Richtung der geraden Linie abweicht. Wenn sich, wie in Fig. 129, an den Kropf ABD eine längere gerade Röhre DE ansetzt, so bildet sich bei F wieder ein Wirbel, und es tritt bei vollem Ausflusse des Wassers eine Verminderung der Geschwindigkeit ein.

Wenn in einer Leitungsröhre eine plötzliche Verengung eintritt, so erleidet die Flüssigkeit bei ihrem Durchgange durch die Röhre an dieser Stelle ebenfalls einen Arbeitsverlust, der aus der plötzlichen Geschwindigkeitsänderung herrührt, welche die Flüssigkeitstheilchen an der Verengung der Röhre erleiden. Dieser durch eine innere Verengung der Röhre eintretende Widerstand ist nicht sehr bedeutend, wenn die Verengung allmälig eintritt und die Geschwindigkeit der Flüssigkeitstheilchen nach und nach sich ändert; aber auch in diesem Falle ist doch der Gesammtwiderstand immer grösser, als wenn

die Verengung nicht vorhanden ist. Denn da die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in irgend einem Querschnitte der Röhre um so grösser ist, je kleiner der Querschnitt wird, so erhält die Flüssigkeit an der Stelle der Verengung eine grössere Geschwindigkeit, als in dem übrigen Theile der Röhre; andererseits aber kommt eine und dieselbe Flüssigkeitsmenge mit der Röhrenwand in einer um so grösseren Oberfläche in Berührung, je kleiner der Durchmesser der Röhre ist, so dass aus diesen beiden Gründen die Reibungen, welche die Flüssigkeit erleidet (§. 91), durch die Verengung der Röhre noch vergrössert wird. Man sieht hieraus, dass man, um Arbeitsverlust zu vermeiden, Verengungen in der Röhrenleitung sorgfältig vermeiden muss und, wenn dieses nicht möglich ist, dafür Sorge zu tragen hat, dass die Flüssigkeitstheilchen bei ihrem Durchgange durch die Verengungen nur sehr allmälig ihre Geschwindigkeit ändern können.

97 **Schieber, Hähne, Klappen, Ventile.** Wir haben bereits früher (I. §. 168) hervorgehoben, dass man in gewissen Fällen, um die Geschwindigkeit der Bewegung zu vermindern, den Einfluss der passiven Widerstände zu vergrössern sucht. Bei den Flüssigkeiten, die sich in Röhrenleitungen bewegen, erreicht man dieses dadurch, dass man auf die eine oder die andere Weise in der Röhre eine Verengung erzeugt. Bedient man sich hierzu eines Schiebers *K*, Fig. 130, Fig. 131 und Fig. 132, der mehr

Fig. 130.

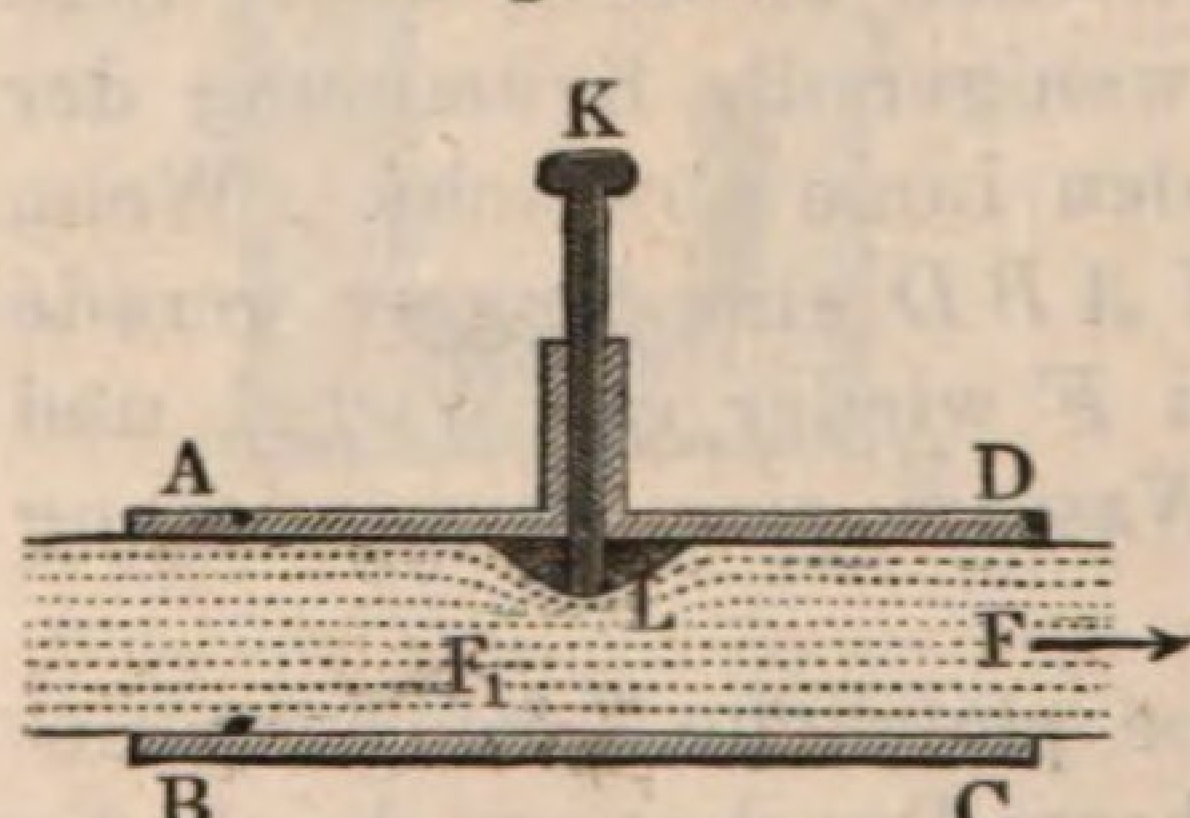


Fig. 131.



Fig. 132.

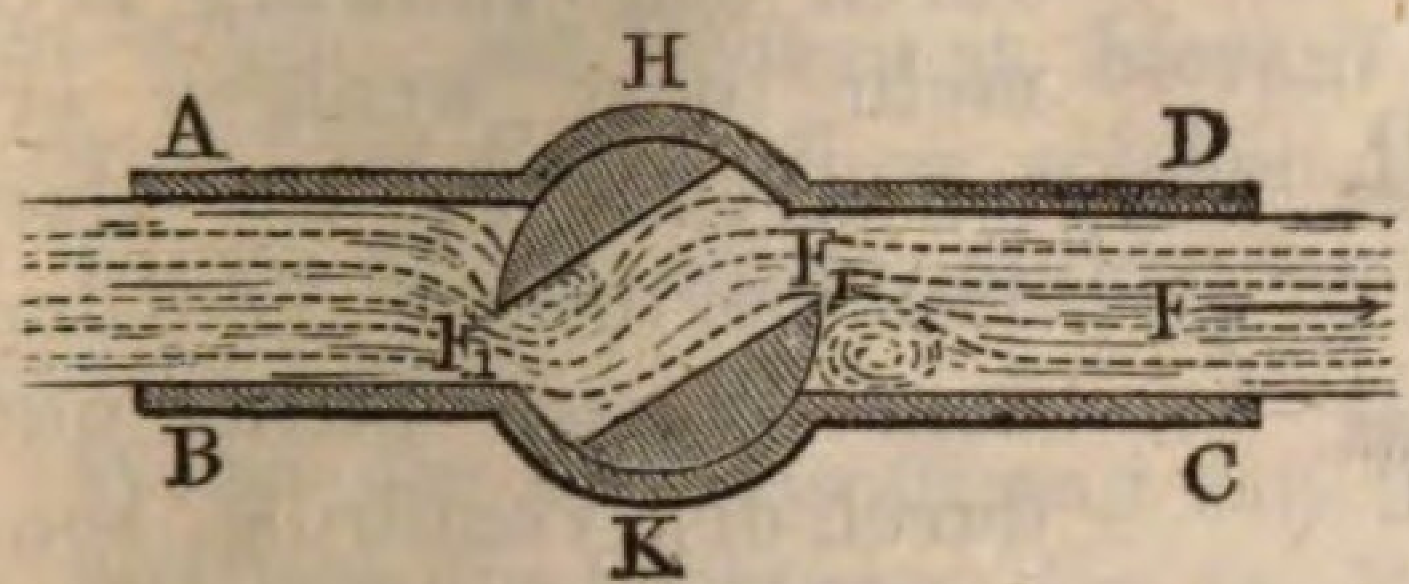


oder weniger tief in die Röhre *ABCD* eingeschoben werden kann, so entsteht eine einfache Verengung, deren Querschnitt bei dem einen Rohre ein blosses Rechteck F_1, Fig. 131, bei dem zweiten aber ein Mondchen F_1, Fig. 132, bildet.

Bei der Anwendung eines Hahnes wird derselbe für die gewöhnlichen Fälle so gestellt, dass die Durchbohrung in die

Längenrichtung des Rohres fällt. Wenn man den Ausfluss des Wassers mindern will, dreht man den Hahn HK, Fig. 133, so dass sich nicht bloss zwei Verengungen $F_1 F_1$, sondern auch zwei Richtungsänderungen des Wassers bilden, und daher der hierdurch erzeugte Widerstand sehr gross ist.

Fig. 133.



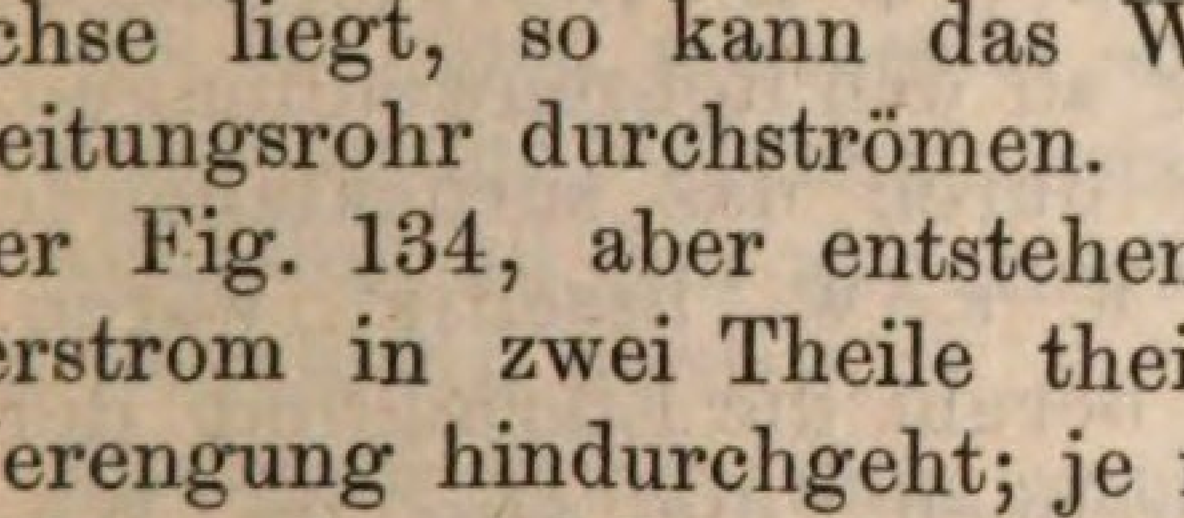
Die *Drehklappe* KL, Fig. 134, hat einen ähnlichen Zweck. Sie ist eine kreisförmige Scheibe, welche auf einer durch das Wasserrohr gehende Achse befestigt ist und sich gleichzeitig mit dieser Achse drehen lässt. Stellt man diese Klappe so, dass ihre Ebene senkrecht zu der Richtung des Rohres steht, so schliesst sich ihr Umfang an die Wand der Röhre an und versperrt dem Wasser den Durchgang. Wenn dagegen die Ebene der Klappe in der Richtung der Röhrenachse liegt, so kann das Wasser fast ganz ungehindert das Leitungsrohr durchströmen. In den Zwischenstellungen, wie in der Fig. 134, aber entstehen Verengungen, welche den Wasserstrom in zwei Theile theilen, von denen jeder durch eine Verengung hindurchgeht; je mehr sich die Klappe der Stellung nähert, in welcher sie rechtwinkelig zu der Achse des Rohres steht, um so mehr wird die Geschwindigkeit des Wassers verkleinert.

Fig. 134.



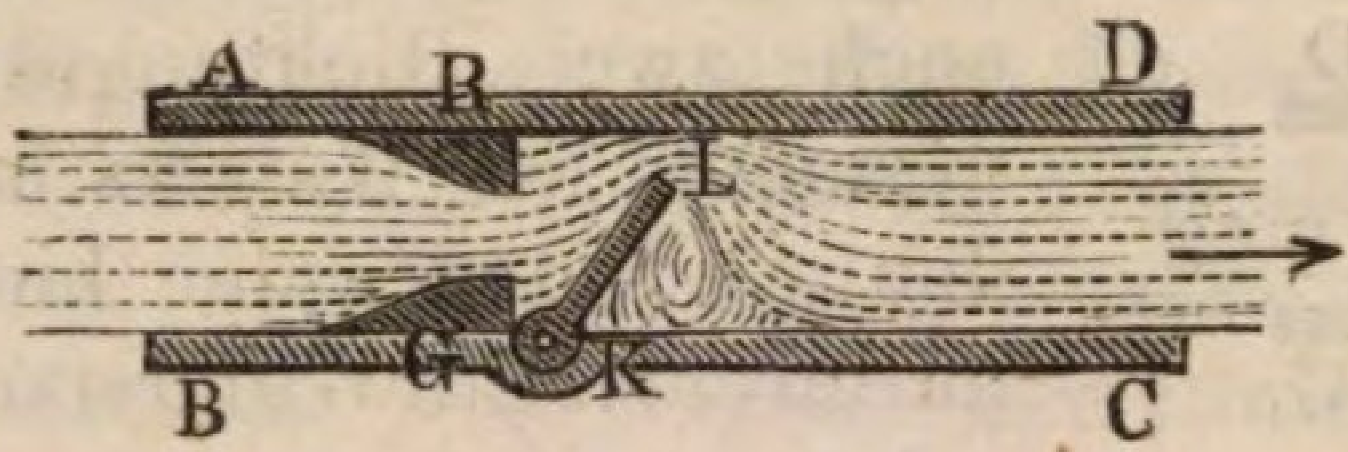
Endlich kann man auch zur Regulirung der Geschwindigkeit des in einer Röhrenleitung sich bewegenden Wassers *Ventile* anwenden. Am häufigsten sind die *Kegelventile*, nächstdem aber die *Klappenventile* im Gebrauche. Bei dem Kegelventile K, Fig. 135, geht das Wasser durch die von einem Ringe RG gebildete Oeffnung und erleidet an dem Ventilkörper K noch eine Aenderung in der Richtung der Geschwindigkeit. Das Ventil hat einen Stiel, womit es in einer Führung liegt, der ihm nur einen Ausschub in die Richtung der Achse des Rohres gestattet. Das Klappenventil KL, Fig. 136 (a. f. S.), dreht sich

Fig. 135.



um eine in der Röhrenwand liegende Achse K, und kann je nach der Stellung der Klappe dem Wasser den Durchgang

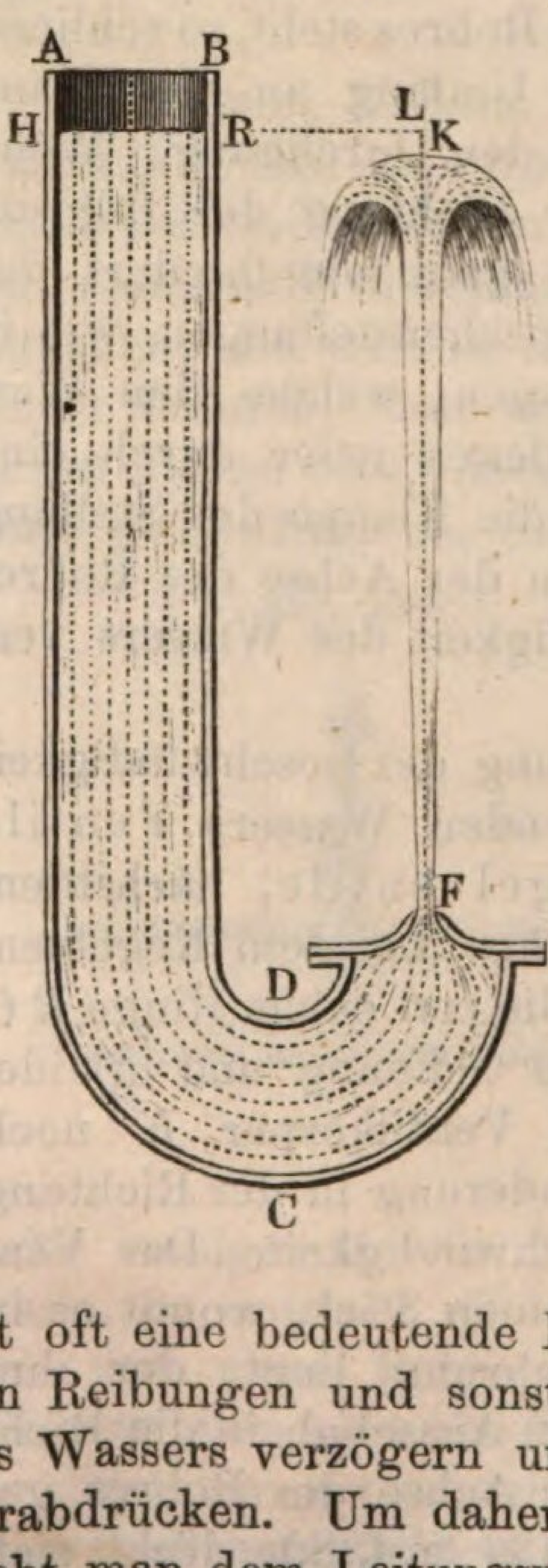
Fig. 136.



durch den Ventilring RG mehr oder weniger erschweren. Es ist klar, dass bei beiden Ventilen dem Wasser nicht nur durch den Ventilring, sondern auch durch den Ventilkörper, den Kegel oder die Ventilklappe, ein Hinderniss entgegengesetzt wird.

98 **Springbrunnen.** Wir haben bereits in §. 79 gesagt, dass, wenn eine Flüssigkeit durch eine Oeffnung F, Fig. 137, in einem

Fig. 137.



verticalen Strahle FK ausfliesst, dieser Strahl beinahe das Niveau HR des Wassers im Gefässe $ABCD$ erreicht und diese Höhe vollkommen erreichen würde, wenn alle Hindernisse, z. B. Luftwiderstand, Reibung an den Röhrenwandungen, Störung durch das zurückfallende Wasser u. s. w. beseitigt wären. Hierauf beruht die Einrichtung der Springbrunnen, die also im Wesentlichen aus einem Wasserbehälter und einer Röhrenleitung bestehen, durch welche das Wasser des Reservoirs unter dem Boden fortgeführt wird, bis es an das Ende der Leitung gelangt und aus einer aufwärts gerichteten Oeffnung in einem verticalen Strahle in die Höhe springt.

Die Röhrenleitung, durch welche das Wasser von dem Reservoir bis zu der Ausflussöffnung geführt wird, hat oft eine bedeutende Länge, so dass die hieraus entstehenden Reibungen und sonstigen Bewegungshindernisse den Lauf des Wassers verzögern und die Sprunghöhe nicht unbedeutend herabdrücken. Um daher die Reibung möglichst zu reduciren, giebt man dem Leitungsrohre einen hinlänglich grossen Durch-

messer; man verringert hierdurch die Geschwindigkeit des Wassers in dem Rohre und gleichzeitig die Oberfläche der Röhrenwand, welche von einer und derselben Flüssigkeitsmenge benetzt wird. Mit Rücksicht hierauf giebt man dem Leitungsrohre in der Regel einen solchen Durchmesser, dass das Wasser darin eine Geschwindigkeit von höchstens 8 bis 12 Zoll annehmen kann.

Wenn die Ausflussöffnung mit einem Ansatzrohre versehen ist, welches die Richtung der in Bewegung befindlichen Wasserfäden plötzlich ändert, so wird dadurch die Sprunghöhe noch bedeutend mehr herabgedrückt. Eine cylindrische Ansatzröhre z. B. vermindert die Ausflussgeschwindigkeit in dem Verhältnisse von 1 : 0,82 (§. 83); die Höhe, welche der Wasserstrahl in Folge seiner Ausflussgeschwindigkeit erreichen kann, beträgt dann nur $0,82^2 = 0,67$ oder ungefähr $\frac{2}{3}$ der Höhe, auf welche er sich erheben würde, wenn die Ausflussöffnung in einer dünnen Wand gewesen wäre. Um daher eine möglichst grosse Sprunghöhe zu erhalten, muss man die Ausflussöffnung in einer Wand von möglichst geringer Dicke anbringen oder die Kanten derselben richtig abrunden (§. 85). Die erstere Einrichtung hat den Vorzug, da sie einen schöneren und reineren Strahl liefert und die einzelnen an der Oeffnung austretenden Wasserfäden nicht durch die Adhäsion an den abgerundeten Wandtheilen von ihrer Richtung abgelenkt werden.

Zuweilen bringt man auch an der Ausflussstelle mehrere Oeffnungen neben einander in dem Leitungsrohre an. Wenn diese Oeffnungen in einem nach einem Kugelstück geformten Röhrenende in gleichen Entfernungen von einander angebracht werden, so erhält man eine Reihe von Wasserstrahlen, welche gegen den aus der Mitte springenden Strahl geneigt sind und in ihrer Gesammtheit eine Garbe bilden. Wenn man auf das Ende des Leitungsrohres oder an verschiedenen Punkten desselben verschieden geformte Ausflussöffnungen anbringt, so erhält man eben so viele verschiedene Formen des springenden Wasserstrahles, deren Mannigfaltigkeit man noch dadurch vermehren kann, dass man die genannten Aufsätze beweglich macht und sie so auf das Leitungsrohr aufschraubt, dass sie durch den Druck der austretenden Wasserstrahlen sich um die Achse des Rohres drehen müssen.

Artesische Brunnen. Im Innern der Erde finden sich in 99
grösseren oder geringeren Tiefen unterhalb des Erdbodens

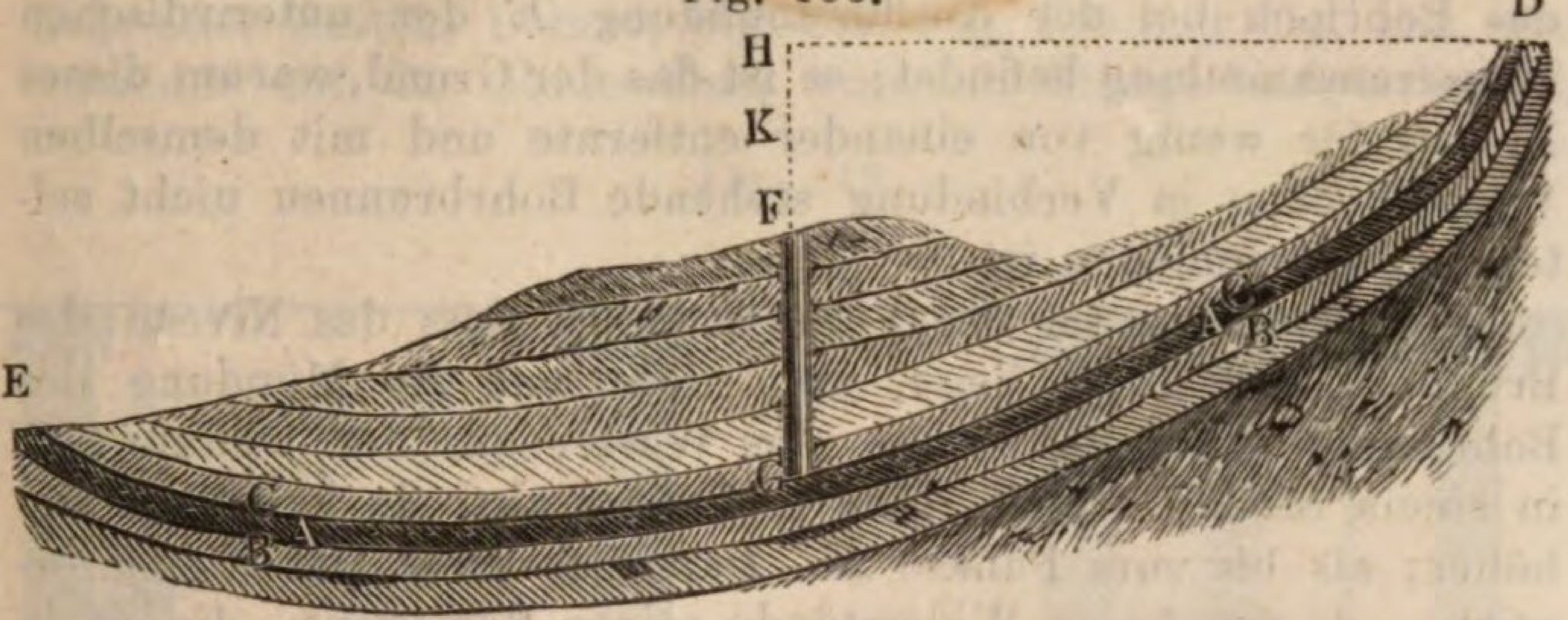
Wasserbecken von sehr bedeutender Ausdehnung. In der Regel ist dieses Wasser in Bewegung und bildet natürliche unterirdische Strömungen. Bohrt man nun ein hinreichend tiefes Loch durch die Erdschichten, bis man ein solches Wasserbecken erreicht hat, so steigt darin das Wasser meistens bis zur Mündung in die Höhe; in vielen Fällen aber springt es sogar in einem hohen Strahle aus dem Bohrloche hervor und fliesst dann ununterbrochen in einer mehr oder weniger ergiebigen, nie versiegenden Quelle fort. Man nennt diese Art von Brunnen artesische Brunnen, weil sie in der neueren Zeit in Artois, einer älteren Provinz Frankreichs, besonders häufig angelegt worden sind. Es ist indessen nicht zweifelhaft, dass diese Brunnen auch bereits im hohen Alterthume bekannt gewesen sind; namentlich hat man deren in den ägyptischen Oasen und in China angetroffen, welche von einem sehr hohen Alter zeugen.

Um eine klare Vorstellung von diesen merkwürdigen Quellen zu erhalten, muss man sich daran erinnern, dass die Erdkruste von der Oberfläche bis zu einer gewissen Tiefe aus einer grossen Anzahl von sehr ausgedehnten, über einander gelagerten Erd- und Gesteinsschichten der verschiedensten Art besteht. Die Dicke dieser Schichten ist zwar für jede einzelne Schicht verschieden, zeigt aber doch eine gewisse Regelmässigkeit und nimmt für eine und dieselbe Schicht nur sehr allmälig zu oder ab. Die diese Schichten von einander trennenden Gränzflächen zeigen daher einen gewissen Grad von Parallelismus, der sich meistens erhalten hat, wenn auch durch die geologischen Umwälzungen die anfängliche horizontale Richtung derselben aufgehoben worden ist und die Schichten eine gegen den Horizont mehr oder weniger geneigte Richtung angenommen haben.

Denken wir uns nun ein solches aus über einander gelagerten Schichten bestehendes Erdreich, Fig. 138, und nehmen wir an, dass eine dieser Schichten AA aus Sand oder sandigen Felsarten bestehe und demgemäss das Wasser leicht fortführen könne, wogegen die beiden anderen, die wasserführende Schicht AA einschliessenden Schichten BB, CC aus Thon- oder Mergellagern oder sonstigen das Wasser nur schwer oder gar nicht durchlassenden Gesteinsarten bestehen, so ist klar, dass das Wasser, welches als Regen, Schnee, Thau u. s. w. durch die bei D zu Tage tretende wasserführende Schicht AA durchsickert, von dieser immer tiefer geführt wird und, da es weder die darüber, noch die darunter stehende Schicht CC, BB durchdringen kann, sich in den tiefer gelegenen Theilen der Schicht

AA in einem ziemlich regelmässigen und ausgedehnten Becken in grosser Menge ansammeln muss, vorausgesetzt, dass es auch

Fig. 138.



an den Seiten nur in geringer Menge oder nur sehr langsam etwa ins Meer abfliessen kann. Das Wasser dieses Beckens, welches mit dem höchsten Punkte *D* durch die Poren der wasserführenden Schicht *AA* communicirt, steht unter dem Druck einer Wassersäule, deren Höhe gleich der senkrechten Entfernung zwischen diesem Punkte und dem in der Tiefe befindlichen Becken ist.

Wird nun an dem Orte *F* der Erdoberfläche, unter welchem sich die genannte Wasseransammlung befindet, ein verticales Bohrloch *FG* bis in dieses Becken getrieben, so bildet dieses den zweiten Schenkel eines communicirenden Gefässes, in welchem das unterirdische Wasser aufsteigt und unter Umständen bis über die Mündung *F* zu Tage springen kann.

Nehmen wir nun zunächst an, es sei das verticale Bohrloch so hoch, dass das Wasser darin stehen bleiben muss, also nicht nach aussen abfliessen kann. Wenn dann keine zu Tage tretende Stelle der wasserführenden Schicht *AA* tiefer liegt, als der Punkt *D*, wo das Wasser einfällt, so muss nach dem Gesetze der communicirenden Gefässe das Wasser in dem Bohrloche bis zu dem mit *D* in demselben Niveau liegenden Punkte *H* in die Höhe steigen. Wenn dagegen das bei *D* eintretende Wasser an einer anderen tieferen Stelle *E* wieder austritt, so kann das Wasser in dem Bohrloche nicht mehr bis *H* steigen, sondern bleibt bei einem Punkte *K* stehen, der tiefer liegt, als *D*, aber höher als *E*. Das Bohrloch *FG* mit seinem höher hinauf reichenden Rohre spielt hier in Bezug auf die wasserführende Schicht *AA* und das Wasserbecken dieselbe Rolle, wie die Glasröhren, welche in den Punkten *C*, *D*, *E*, *F* des Rohres

AB, Fig. 122, S. 168 eingesetzt waren. Man sieht hieraus, dass der Punkt *K*, Fig. 138, den man das Brunnen-Niveau des Bohrloches *FG* nennen kann, um so tiefer liegt, je näher sich das Bohrloch bei der Ausflussmündung *E* der unterirdischen Wasseransammlung befindet; es ist das der Grund, warum dieses Niveau für wenig von einander entfernte und mit demselben Wasserbecken in Verbindung stehende Bohrbrunnen nicht selten sehr verschieden ist.

Wenn man unter der Voraussetzung, dass das Niveau des Brunnens *FG* in *K* liege, kein Rohr auf die Mündung des Bohrloches aufsetzt, so muss das Wasser aus der Oeffnung *F* in einem Strahle in die Höhe springen, aber in keinem Falle höher, als bis zum Punkte *K*. Damit es diese Höhe ganz erreiche, dürfen keine Widerstände seiner Bewegung, die es in Folge des in dem tiefsten Punkte des Bohrloches stattfindenden Druckes annehmen möchte, entgegenwirken. In der Wirklichkeit ist dieses aber nie der Fall, da durch das Aufsteigen des Wassers im Innern des meist engen und sehr tiefen Bohrloches eine starke Reibung entsteht, welche die Bewegung des Strahls verzögert und die Geschwindigkeit desselben vermindert.

Wenn man dagegen auf die Mündung des Bohrloches eine Röhre aufsetzt, welche nicht bis zum Brunnen-Niveau *K* reicht, so steigt das Wasser in diese Röhre hinauf und fliesst an ihrem oberen Ende ab. Die Ausflussgeschwindigkeit ist offenbar um so geringer, je näher das Röhrenende an das Brunnen-Niveau *K* reicht, da ja für dieses Niveau Gleichgewicht besteht. Die Wassermenge, welche von einem solchen Brunnen in einer bestimmten Zeit geliefert wird, ist daher um so kleiner, je grösser die Höhe ist, auf welche man mittelst einer Ansatzröhre den Wasserstrahl zu bringen sucht; sie ist Null, wenn man das Wasser bis zum Brunnen-Niveau selbst will aufsteigen lassen.

Fig. 139.

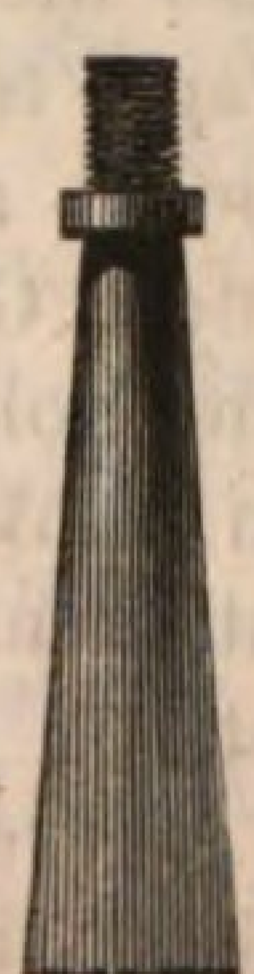


Fig. 140.

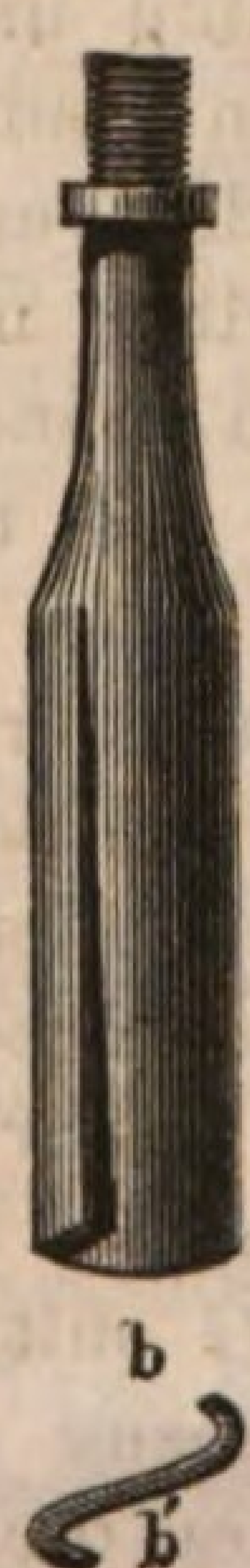


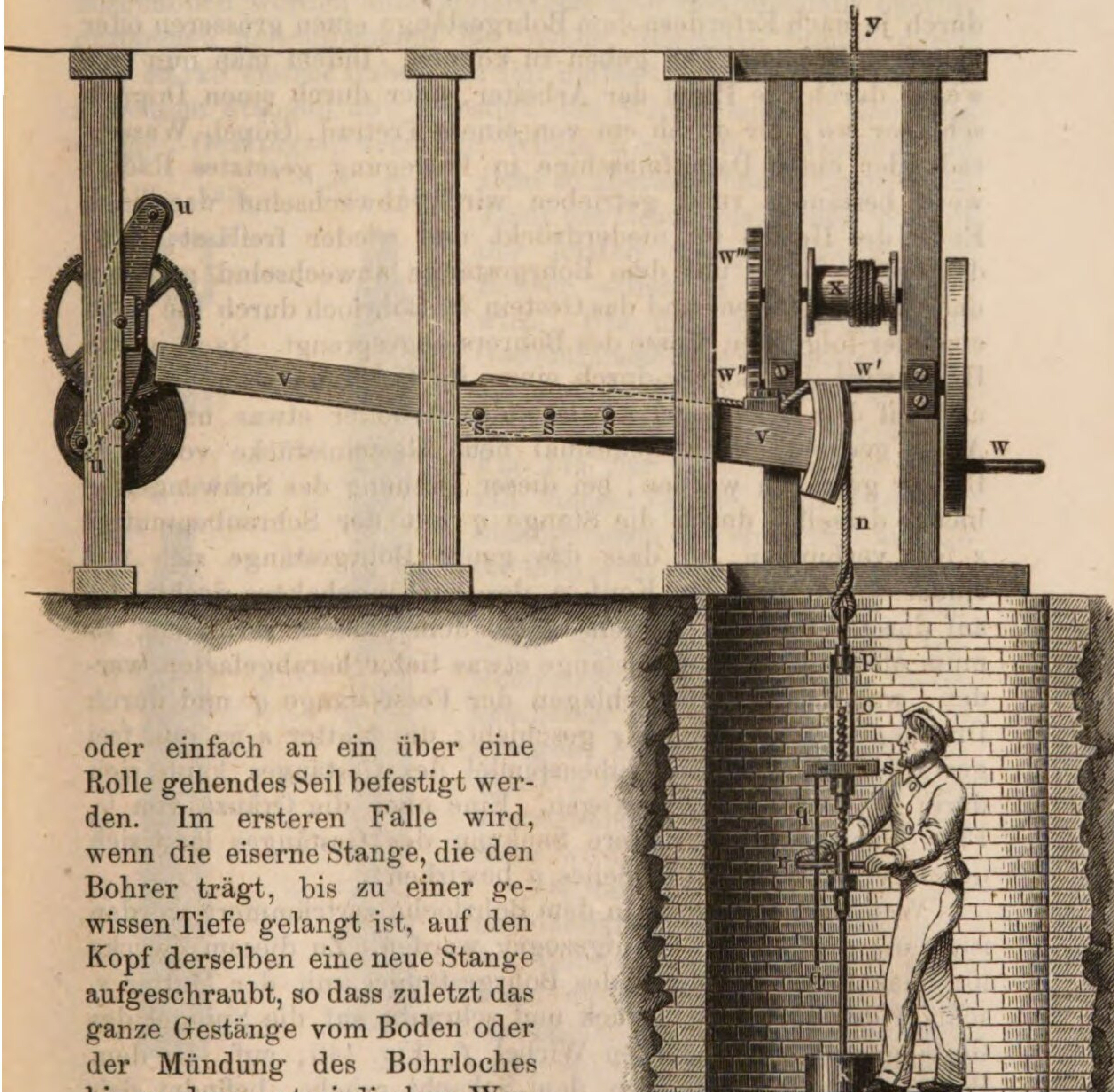
Fig. 141.



Die Bohrlöcher der ar-

tesischen Brunnen haben meist kleine Querschnitte von einigen Zoll, dagegen nicht selten sehr bedeutende Tiefen. Man bohrt dieselben mittelst besonderer, auf verschiedene Weise geformter Erd- oder Gestein-Bohrer, Fig. 139, Fig. 140 und Fig. 141, die entweder auf das Ende einer eisernen Stange aufgeschraubt

Fig. 142.



oder einfach an ein über eine Rolle gehendes Seil befestigt werden. Im ersteren Falle wird, wenn die eiserne Stange, die den Bohrer trägt, bis zu einer gewissen Tiefe gelangt ist, auf den Kopf derselben eine neue Stange aufgeschraubt, so dass zuletzt das ganze Gestänge vom Boden oder der Mündung des Bohrloches bis zu dem unterirdischen Wasserbecken reicht. Das Bohren geschieht nun auf folgende Weise. Das oberste Ende des Bohrgestänges, welches aus dem mit einer eisernen oder hölzernen Röhre *k*, Fig. 142, bekleideten Bohr-

loche hervorragt, ist mit einer Schraube versehen, die durch eine bei *p* aufgehängte und darin drehbare Mutter *s* hindurchgeht, wodurch es gestattet ist, das ganze Bohrgestänge durch Drehung einer oberen Spindel in der festen Mutter *s* wenigstens um $\frac{1}{2}$ Fuss zu heben oder zu senken. Der Kopf *p* ist durch ein Seil *n* an dem Hebel *v v* aufgehängt, dessen Drehpunkt in drei verschiedene Punkte eines festen Querholzes *s s s* verlegt werden kann, um dadurch je nach Erfordern dem Bohrgestänge einen grösseren oder kleineren Hub und Fall geben zu können. Indem man nun entweder durch die Hand der Arbeiter, oder durch einen Doppelschläger *uu*, der durch ein von einem Tretrad, Göpel, Wasserrad oder einer Dampfmaschine in Bewegung gesetztes Räderwerk beständig rund getrieben wird, abwechselnd das linke Ende des Hebels *vv* niederdrückt und wieder freilässt, wird das andere Ende mit dem Bohrgestänge abwechselnd gehoben und fallen gelassen, und das Gestein im Bohrloch durch die nach einander folgenden Stösse des Bohrers abgesprengt. Nach jedem Hube wird der Bohrer durch einen im Bohrschachte stehenden und auf den Schwengel *r* wirkenden Arbeiter etwas um seine Achse gedreht, damit jedesmal neue Gesteinsstücke von dem Bohrer getroffen werden; bei dieser Drehung des Schwengels *r* bleibt derselbe durch die Stange *q* mit der Schraubenmutter *s* fest verbunden, so dass das ganze Bohrgestänge sich mit einem Ringe um den Kopf *p* des Aufhängehakens dreht. Ist auf diese Weise das Gestein unter dem Bohrer zermalmt, so muss offenbar das Bohrgestänge etwas tiefer herabgelassen werden, was durch Zurückschlagen der Fesselstange *q* und durch Drehung des Schwengels *r* geschieht; die Mutter *s* ist nun frei geworden und die Schraubenspindel des Gestänges kann sich darin frei auf- oder abbewegen. Eine über die Gränze von $\frac{1}{2}$ Fuss hinausgehende weitere Senkung des Gestänges lässt sich durch Verlängerung des Seiles *n* bewirken.

Wenn genug Gestein in dem Bohrloche zertrümmert worden ist, muss der Bohrer heraufgezogen werden. Zu diesem Zwecke löst man die Verbindung des Bohrgestänges mit der Mutter *s*, schlägt den Hebel *vv* zurück und schraubt auf die Spindel des Gestänges den sogenannten Wirbel *f*, Fig. 143, auf. In dem Bohrthurme, der sich über dem Schacht erhebt, befindet sich nun eine starke Seilwinde $W\,W'\,W''\,W'''$, durch welche eine Trommel *X* behufs Aufwindung eines darauf befestigten Seiles *y* rundgedreht werden kann. Das Seil *y* geht oben über eine feste Rolle und wird mit seinem freien Ende an dem Wirbel *f*

befestigt. Ist dieses geschehen, so wird durch Umdrehen der Kurbel *W* das Seil auf die Trommel aufgewunden und das Bohrgestänge aus dem Bohrloche herausgezogen; dass der Bohrthurm mindestens so hoch sein muss, als eine Stange, aus denen das Bohrgestänge zusammengesetzt ist, lang ist, versteht sich von selbst. Wenn auf diese Weise eine oder zwei Stangen herausgehoben worden sind, unterstützt man den ebenfalls hervorgezogenen Schraubenkopf der nächst folgenden Stange durch eine starke eiserne Gabel, die ihn umfasst, schraubt die darüber stehenden Stangen ab, befestigt den Wirbel auf das Ende des übrigen Gestänges, setzt die Winde wieder in Bewegung und zieht so abermals und so lange einen Theil des Gestänges heraus, bis mit der letzten Stange zugleich der Bohrer selbst zu Tage gefördert wird. Um nun die zerbröckelten Gesteinsmassen hervorzuholen, wird auf dieselbe Weise mittelst des Seiles *y* ein Löffel aus Eisenblech, Fig. 144, der oben offen und unten mit einem Ventile *a* versehen ist, hinabgelassen und einigemal auf die im Bohrloche befindliche schlammartige Masse niedergestossen. Der Löffel füllt sich dann mit der Gesteinsmasse und wird, wenn dieses geschehen ist, wieder in die Höhe gezogen; hierbei schliesst sich das Ventil *a* durch den Druck der darüberstehenden Schlammmasse und diese wird zu Tage gefördert.

Fig. 143.

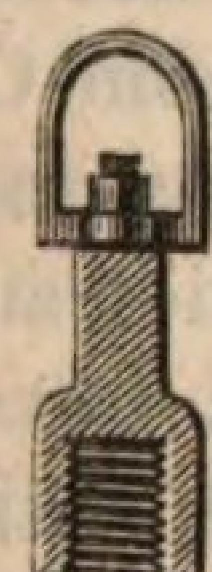


Fig. 144.

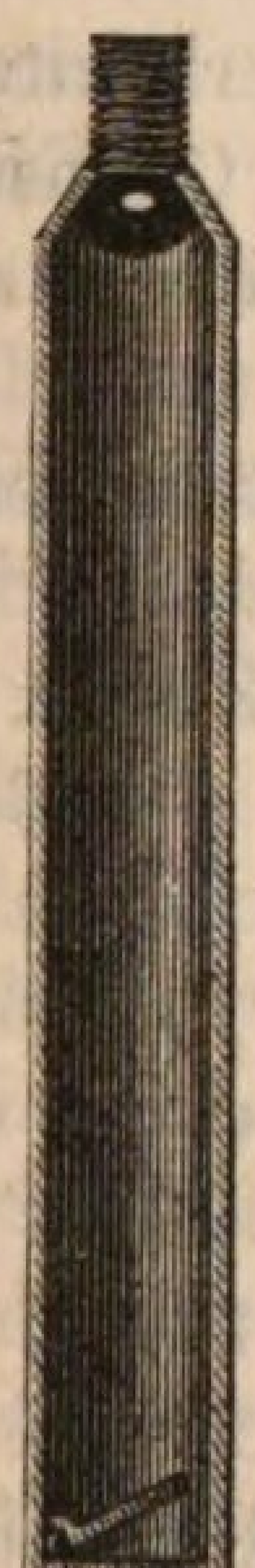


Fig. 145.



Da das Aufziehen des Bohrers und das darauf folgende Ausschöpfen des Bohrloches mit grossem Aufwand an Arbeit, Zeit und Kosten verbunden ist, so vereinfacht man in der neueren Zeit das Bohren durch Vereinigung des Bohrers und des Löffels. Einen solchen Meisselbohrer zeigt die Fig. 145, wo der untere Theil den Bohrer, der obere *e* den Löffel bildet, und zwischen beiden Theilen am Ende eines die zertrümmerten Gesteine durchlassenden Kanals sich das Sperrventil befindet.

Die Bohrlöcher müssen, um das Einsinken und Verschütten der Wände zu verhindern, auf einen grossen Theil ihrer Länge, in einigen Fällen sogar gänzlich, mit Röhren ausgekleidet werden. Das bekannte Bohrloch zu Grenelle bei Paris hat eine Tiefe von 1700 Fuss, und das Wasser steigt in der Röhre desselben 118 Fuss hoch über den Boden in die Höhe; es liefert in jeder Minute 2620 preussische Quart Wasser von 27° C. — Ein anderes Beispiel von grosser Springkraft ist ein zu Bruck bei Erlangen 448 Fuss tief gebohrter Brunnen, dessen Wasserstrahl aus einer 2 Zoll weiten Röhre 70 Fuss emporspringt.

Wenn auch der ursprüngliche Zweck der artesischen Brunnen war, *Trinkwasser* zu erhalten, so hat doch der grosse Reichthum an Wasser in vielen Fällen die Anwendung derselben zu technischen Zwecken möglich gemacht. An einigen Orten des nördlichen Frankreichs ist es gelungen, den austretenden Wasserstrahl unmittelbar zum Treiben eines Mühlrades zu benutzen; zu Heilbronn hat man sich durch fünf etwa 100 Fuss tiefe Bohrungen eine Wassermenge verschafft, die zum Betriebe eines Papierwerkes, einer Bleichanstalt und einer Flachsspinnerei ausreichend ist. Andere Bohrbrunnen liefern *Salzsoolen*, aus denen Kochsalz gewonnen wird, wie der zu Neusalzwerk unweit Minden, und wieder andere haben einen weit verbreiteten Ruf als Heilquellen erlangt, wie die Kurbrunnen zu Cannstadt bei Stuttgart, das Bad Oenhausen zu Rehme, in Neuenahr u. s. w.

100 Anstatt das Brunnenniveau eines Bohrloches mittelst einer auf die Mündung aufgesetzten Röhre zu bestimmen, was in vielen Fällen schwer ausführbar ist, kann man diesen Zweck auf folgende Weise erreichen: Man schliesst die Mündung des Bohrloches durch einen Stopfen ganz zu und treibt ihn so fest ein, dass er dem gegen seine untere Basis wirkenden Drucke des Wassers widerstehen kann; alsdann setzt man eine in dem Stopfen angebrachte und bis dahin mittelst eines Hahnes verschlossene kleine Röhre mit einem Manometer (§§. 51 und 52) in Verbindung, so dass das Wasser des Brunnens, nachdem der Hahn geöffnet worden ist, auf die Luft und das Quecksilber des Manometers einwirken kann; der Druck des Wassers kann dann aus dem Stande des Quecksilbers im Manometer leicht in Atmosphären berechnet werden. Zieht man von der Zahl der so erhaltenen Atmosphären eine ab, und multiplicirt den Rest mit $32\frac{1}{2}$ pr. Fuss (§. 39), so hat man die Höhe des Brunnenniveaus über der Mündung des Bohrloches in Fuss.

Es kommt zuweilen vor, dass die von einem artesischen Brunnen gelieferte Wassermenge abnimmt. Eine solche Verminderung der Ausflussmenge kann von zwei Ursachen herrühren: entweder hat der Druck in dem tiefsten Punkte des Bohrloches abgenommen, oder das Innere des Loches hat sich an einer oder an mehreren Stellen durch eingefallene Wandtheile, oder durch sonstige feste, von dem aufsteigenden Wasserstrahl in die Höhe geführte Körper theilweise verstopft.

Die Bestimmung des Brunnenniveaus lässt sofort erkennen, welche Ursache der Abnahme der Wassermenge zu Grunde liegt; ergiebt sich hierbei, dass das Niveau gesunken ist, so findet die erstgenannte Ursache oder eine allgemeine Abnahme des Druckes in dem unterirdischen Wasserbecken statt; im anderen Falle aber ist eine Veränderung in dem Drucke nicht eingetreten, und die Abnahme der Wassermenge ist die Folge einer irgendwo vorhandenen Verstopfung.

In einigen artesischen Brunnen hängt die Wassermenge ab von dem Wasserstande eines benachbarten Flusses, so dass ein Steigen des Wassers im Flusse jedesmal auch eine Vermehrung der Ausflussmenge des Bohrbrunnens zur Folge hat. Ebenso ändert sich oft die Wassermenge der in der Nähe des Meeres gelegenen artesischen Brunnen mit dem periodischen Wechsel von Ebbe und Fluth, so dass sie zur Zeit der Fluth reichlicher fliessen, als zur Zeit der Ebbe. Es ist nicht schwer, über diese Erscheinungen Rechenschaft zu geben. Die zu Tage tretenden niedrigeren Theile *E*, Fig. 138, der wasserführenden Schicht, durch welche das Wasser dieser Schicht abfliesst, können eine sehr verschiedene Lage haben. Liegen sie beständig zu Tage, so dass sie niemals von einem anderen Gewässer überdeckt werden, so bilden sie offene, sichtbare Quellen; anders aber verhält es sich, wenn diese Stellen unter dem Niveau eines Flusses oder unter dem Meeresspiegel liegen. In diesem Falle erleiden diese Ausflussöffnungen des unterirdischen Wasserstromes einen Druck, welcher der Höhe des Fluss- oder Meerwassers über diesen Stellen entspricht. Wenn daher diese Höhe selbst veränderlich ist, so ändert sich auch in gleicher Weise der Druck auf die verschiedenen Punkte des unterirdischen Wasserbeckens, und zwar ist der Einfluss dieses Druckes um so grösser, je näher die Punkte der Ausflussöffnung liegen. Aus diesem Grunde steigt und sinkt das Brunnenniveau *K*, Fig. 138, gleichzeitig mit der Zu- und Abnahme des Wasserdruckes auf die Ausflussöffnung *E* und die wasserführende Schicht, und eben

daher muss auch die Zu- oder Abnahme der Wassermenge des Brunnens mit dem Steigen und Sinken des benachbarten Fluss- oder Meeresspiegels nahe gleichen Schritt halten.

101 **Absorbirende Brunnen.** Wenn das Brunnenniveau eines Bohrloches unterhalb der Mündung desselben liegt, so kann das Wasser darin nicht bis an die Mündung in die Höhe steigen; in diesem Falle verhält sich das Bohrloch wie ein gewöhnlicher Brunnen, und um das Wasser daraus zu gewinnen, muss man die bekannten Mittel, die Hebe- oder die Druckpumpe, anwenden. Wenn man aber, statt das Wasser daraus zu schöpfen, anderes Wasser in ein solches Bohrloch hineingiesst, so wird dadurch das Gleichgewicht der Wassersäule gestört. Die Wassersäule im Innern des Bohrloches wird zu gross, um noch von dem in der Tiefe des Wasserbeckens herrschenden Druck getragen zu werden, sie sinkt daher bis zu dem anfänglichen Brunnenniveau unterhalb der Mündung des Brunnens herab. Man kann daher in einen solchen Brunnen unaufhörlich Wasser eingiessen, ohne dass er voll wird; das zugegossene Wasser fliesst durch das Bohrloch in das unterirdische Wasserbecken und durch dessen tiefer gelegene Ausflussstellen *E*, Fig. 138, ab. Man nennt solche Bohrlöcher absorbirende Brunnen.

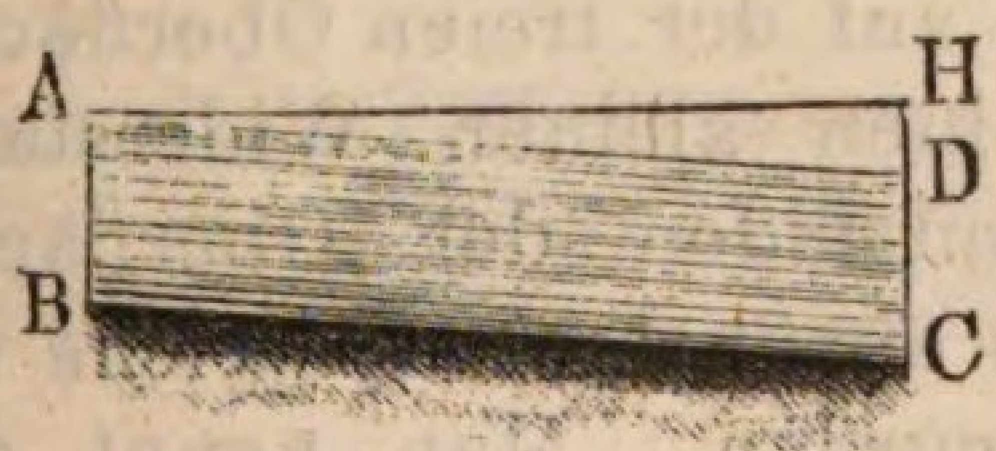
Man benutzt die absorbirenden Brunnen in vielen Fällen, um sich der schädlichen Wasser zu entledigen, sei es, um ein sumpfiges oder mooriges Terrain trocken zu legen, oder um dem Erdboden in der Nähe von grösseren oder werthvollen Anlagen die Feuchtigkeit zu entziehen, die denselben schädlich sein könnte, oder auch, um das aus industriellen Anlagen kommende verdorbene und der Gesundheit nachtheilige Wasser rasch zu entfernen.

Ein sehr bemerkenswerthes Beispiel eines absorbirenden Brunnens findet sich zu St. Denis in der Nähe von Paris. Als man auf dem Hofe der Posthalterei daselbst ein Bohrloch herstellte, stiess man zuerst auf eine absorbirende Schicht. Bei weiterem Bohren aber traf man auf eine Schicht springenden Wassers, und bei noch tieferem Bohren gelangte man zu einer Schicht, deren Wasser weit besser war, als das vorige, und die es ebenfalls in einem kräftigen Strahle aus dem Bohrloche emporspringen liess. Man stellte nun in dieses Loch drei concentrische Röhren, welche alle bis zum Boden hinaufreichten, aber unten in verschiedenen Tiefen endigten. Die innerste Röhre, enger als die beiden anderen, wurde bis in die zweite

springende Schicht hinabgeführt; die zweite Röhre, welche die erste rings umgab und mit dieser einen ringförmigen Zwischenraum bildete, reichte bis zu der ersten springenden Schicht herunter; die dritte Röhre endlich, welche die zweite ringförmig umgab, reichte nur bis zu der absorbirenden Schicht. Bei dieser Einrichtung steigt das beste Wasser der tiefsten springenden Schicht durch die innere Röhre in die Höhe; das weniger gute Wasser der nächst höheren springenden Schicht steigt in dem von der inneren und der mittleren Röhre gebildeten Zwischenraume in die Höhe, während das überflüssige Wasser, welches von der Stadt nicht gebraucht wird, durch den von der äussersten und der mittleren Röhre gebildeten Zwischenraum in die absorbirende Schicht abfliesst und dort verschwindet.

Die Bewegung des Wassers in Kanälen. Wenn die 102
Umstände, welche auf die Bewegung des Wassers in einem Kanale von Einfluss sind, sich auf der ganzen Länge des Kanals nicht ändern, so ist die Bewegung des Wassers regelmässig und gleichförmig, obgleich das Grundbett oder die Sohle *BC*, Fig. 146, auf irgend eine Länge *AD* ein Gefälle *HD* hat. Wenn daher ein Kanal überall nach der Breite und Tiefe dieselben Dimensionen hat und der Neigungswinkel *DAH* des Wasserspiegels gegen den Horizont, Abhang genannt, auf seiner ganzen Länge derselbe bleibt, so findet man, dass die Bewegung des Wassers in jedem beliebigen Querschnitte des Kanals genau dieselbe ist, und dass trotz der Neigung des Flussbettes die Geschwindigkeit des Wassers in *D* nicht grösser ist, wie in *A*. Die ganze dem Gefälle *HD* entsprechende accelerirende Wirkung der Schwerkraft wird also hier bloss auf Ueberwindung der Reibung und der Adhäsion des Wassers im Bette verwendet, so dass sich letzteres in einem Beharrungszustande befindet, in welchem jedes Molekül sich in einer geraden Linie gleichförmig bewegt und die Oberfläche des Wassers überall dieselbe Neigung gegen den Horizont hat, wie das Flussbett selbst.

Fig. 146.



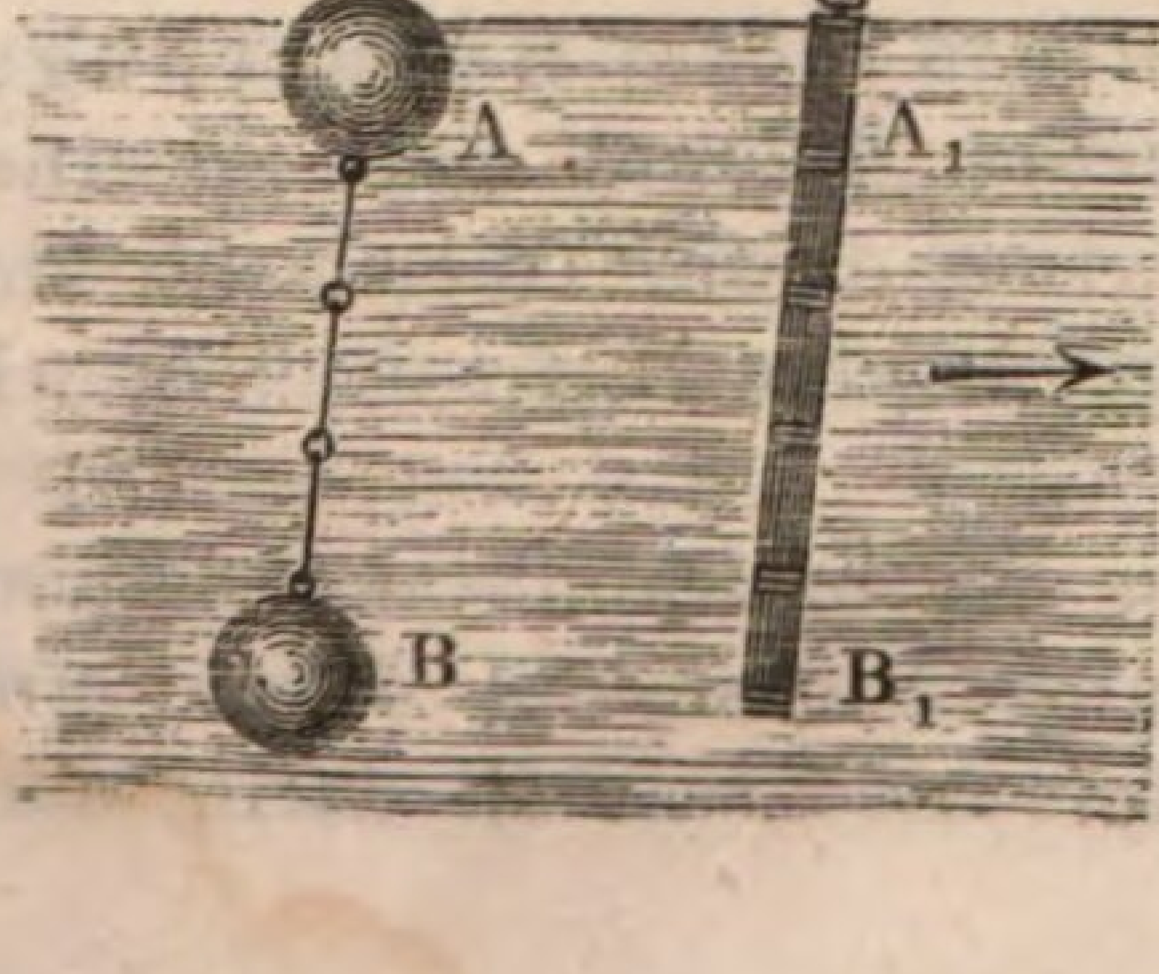
Die Bewegung des Wassers in einem Kanale kann man zurückführen auf die Bewegung einer Flüssigkeit durch eine cylindrische Röhre; der einzige Unterschied besteht darin, dass

das Wasser eines Kanals eine freie Oberfläche hat, während die Flüssigkeit, die sich durch eine Röhre bewegt, überall von den festen Wänden der Röhre eingeschlossen ist. Wenn man daher diesen Unterschied mit in Betracht zieht, so können die in den §§. 91 bis 98 angestellten Betrachtungen auch auf die Bewegung des Wassers in einem Kanale angewandt werden.

Hiernach ist die Geschwindigkeit des Wassers in den einzelnen Punkten eines und desselben Querschnittes sehr verschieden und die verschiedenen Wasserfäden bewegen sich nicht mit derselben Geschwindigkeit. Die Adhäsion des Wassers an dem Bette und an den Seiten des Kanals, sowie der Zusammenhang der benachbarten Wasserfäden unter einander bewirken, dass die den Wänden des Kanals nahe liegenden Wasserfäden in ihrer Bewegung mehr aufgehalten werden und daher langsamer fliessen, als die entfernteren. Die grösste Geschwindigkeit befindet sich daher nahe an der freien Oberfläche des Wassers in der Mitte des Kanals, von wo aus sie sowohl nach den Seitenwandungen, als nach dem Bette hin immer mehr abnimmt und an dem Boden und nahe den Ufern des Kanals am kleinsten ist. Dass die grösste Geschwindigkeit nicht genau in der freien Oberfläche des Wassers, sondern etwas unterhalb derselben sich befindet, hat seinen Grund darin, dass die atmosphärische Luft, welche auf der freien Oberfläche ruht, der Bewegung des Wassers einen kleinen Widerstand entgegensetzt und so die Flüssigkeitsfäden der Oberfläche verhindert, diejenige Geschwindigkeit anzunehmen, welche sie ohne dieses Hinderniss annehmen würden. Man nennt die Stelle, wo das Wasser die grösste Geschwindigkeit hat, den Stromstrich und die tiefste Stelle im Bette die Stromrinne.

Um sich zu überzeugen, dass die Geschwindigkeit des Wassers in der Mitte des Kanals in der freien Oberfläche selbst kleiner ist als in einer kleinen Entfernung unterhalb derselben, sowie überhaupt um die Geschwindigkeit des Wassers zu messen, kann man sich zweier durch einen Faden oder eine leichte Kette mit einander verbundener Schwimmkugeln, A, B, Fig. 147, oder des Schwimmstabes $A_1 B_1$ bedie-

Fig. 147.



nen. Die Schwimmkugeln bestehen aus einer Mischung von Wachs und anderen Substanzen, und zwar ist die obere so zusammengesetzt, dass sie für sich allein auf dem Wasser schwimmt, die untere dagegen, dass sie für sich allein in demselben untersinkt, ausserdem aber sind beide Kugeln so abzugleichen, dass sie nach ihrer Verbindung durch den Faden oder die Kette im Wasser schwimmen, ohne dass die leichtere Kugel aus der Oberfläche hervorragt. Am häufigsten wendet man hohle, mit Stöpseln versehene Schwimmkugeln aus Messingblech von 4 bis 12 Zoll Durchmesser an, die einen Anstrich von leichter Oelfarbe erhalten, damit man sie leicht im Auge behalten kann. Die obere Kugel A, welche im Wasserspiegel schwimmen soll, erhält nur so viel Wasser, dass sie nur eben aus der Oberfläche hervorragt, die untere Kugel B dagegen wird ganz mit Wasser angefüllt. Der Schwimmstab $A_1 B_1$ wird aus kurzen hohlen Röhren von Messingblech oder von gefirnisstem Holze zusammengeschraubt und, damit er ziemlich aufrecht schwimme, so weit mit Schrot gefüllt, dass der Kopf A_1 während des Schwimmens nur wenig aus dem Wasser hervorragt.

Wenn die beiden Kugeln nur wenig von einander entfernt sind und in ein stillstehendes Wasser geworfen werden, so stellen sie sich vertical untereinander; wirft man sie aber, Fig. 148, in den Stromstrich eines Kanals, so werden sie von dem fliessenden Wasser mit fortgezogen und nehmen die Geschwindigkeiten der Wasserstriche an, in welchen sie sich befinden. Der Faden stellt sich nun nicht mehr vertical, vielmehr eilt die untere Kugel in der Richtung der Bewegung der oberen Kugel voraus, woraus folgt, dass das Wasser unterhalb der freien Oberfläche eine grössere Geschwindigkeit hat, als das höher liegende der Oberfläche selbst.

Fig. 148.



Sind dagegen die beiden Kugeln A, B, Fig. 147, durch eine längere Kette mit einander verbunden und also weiter von einander entfernt, so bleibt die untere Kugel B in der Richtung der Bewegung hinter der oberen A zurück, woraus folgt, dass die Geschwindigkeit des Wassers in der Tiefe und in der grösseren Nähe des Bodens kleiner ist als an der Oberfläche. Dasselbe lehrt auch die Richtung des Schwimmstabes $A_1 B_1$, weil der Kopf desselben dem Fusse etwas vorausschwimmt.

Es ist bereits oben gesagt worden, dass die Geschwindig-

keit des Wassers an verschiedenen Stellen eines und desselben Querprofils des Kanals nicht dieselbe ist; wenn man daher von der Geschwindigkeit des Wassers in einem Kanale oder einem Flusse im Allgemeinen spricht, so versteht man darunter eine mittlere Geschwindigkeit aus allen einzelnen Geschwindigkeiten desselben Querprofils, und zwar diejenige, mit welcher das Wasser durch alle Punkte des Querschnittes fliessen müsste, um in einer Secunde die gleiche Wassermenge zu liefern (§. 92). Kennt man diese mittlere Geschwindigkeit des Wassers, so hat man dieselbe offenbar nur mit der Grösse des Querschnittes zu multipliciren, um das Wasserquantum zu erhalten, welches in einer Secunde durch diesen Querschnitt hindurchfliesst. Bezeichnet man die mittlere Geschwindigkeit des Wassers mit v, die Grösse des Querschnittes des Kanals mit F und die secundlich durchfliessende Wassermenge mit M, so ist daher immer

$$M = v \,.\, F, \quad \text{oder auch}$$

$$v = \frac{M}{F},$$

wonach man die mittlere Geschwindigkeit findet, wenn man die beobachtete secundliche Wassermenge durch den Flächeninhalt des Querschnittes dividirt.

Durch Versuche hat man gefunden, dass diese mittlere Geschwindigkeit in der Regel nur 0,83 bis 0,84 der grössten Geschwindigkeit im Stromstriche, ja bei geringen Stromstrichgeschwindigkeiten nur 0,80 dieser Maximalgeschwindigkeit beträgt.

Hat man daher durch Beobachtung die Geschwindigkeit V des Wassers an der Oberfläche gefunden, so ist die mittlere Geschwindigkeit desselben:

$$v = 0{,}83 \,.\, V,$$

und daher die secundliche durch den Querschnitt F hindurchfliessende Wassermenge:

$$M = v \,.\, F = 0{,}83 \,.\, V \,.\, F.$$

Ist z. B. der Querschnitt eines Kanals 21 Quadratfuss, die beobachtete Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche 3,2 Fuss, so ist die durch diesen Querschnitt in jeder Secunde hindurchfliessende Wassermenge:

$$M = 0{,}83 \,.\, 3{,}2 \,.\, 21 = 55{,}776 \text{ Kubikfuss.}$$

Das Wasser eines Kanals oder eines Flusses ist im Beharrungszustande, wenn durch jeden seiner Querschnitte

in gleicher Zeit eine gleiche Wassermenge M fliesst, also wenn das Product $v \,.\, F$ aus der mittleren Geschwindigkeit und dem Inhalte des Querschnittes auf der ganzen Länge des Kanals sich gleich bleibt. Fliesst daher bei einem solchen Kanal in derselben Zeit die gleiche Wassermenge M durch einen anderen Querschnitt F' mit der Geschwindigkeit v', so ist

$$v \,.\, F = v' \,.\, F', \text{ und daher}$$

$$v : v' = F' : F,$$

d. h. wenn sich ein Kanal im Beharrungszustande befindet, so verhalten sich die mittleren Geschwindigkeiten des Wassers innerhalb zweier Querschnitte umgekehrt, wie die Inhalte dieser Querschnitte. Wenn der Querschnitt des Kanals 2, 3, 4 . . . mal kleiner wird, so wird die mittlere Geschwindigkeit des Wasser 2, 3, 4 . . . mal grösser und umgekehrt.

Damit die Bewegung eines jeden Flüssigkeitstheilchens 103
gleichförmig sein könne, müssen alle darauf wirkenden Kräfte sich gegenseitig das Gleichgewicht halten; in einem solchen Falle muss daher auch zwischen allen Kräften, welche auf ein zwischen zwei sehr nahe aneinander gelegenen Querschnitten befindliches Flüssigkeitsstück wirken, Gleichgewicht bestehen. Die Kräfte aber, welche auf ein solches Flüssigkeitsstück wirken, sind dreifacher Art (§. 93).

1. Wenn das Kanalbett gegen den Horizont geneigt ist, liefert das Gewicht des in Rede stehenden Flüssigkeitsstückes in einer zu dem Bette parallelen Richtung eine Seitenkraft, welche beschleunigend auf dasselbe wirkt.

2. Die beiden Gränzflächen des Flüssigkeitsstückes erleiden von der übrigen anstossenden Flüssigkeit einen Druck.

3. Das Flüssigkeitsstück erleidet einen Widerstand, der von der Reibung gegen die festen Wände und gegen die Luft, mit welcher es in Berührung steht, herrührt.

Nun sind aber die beiden Druckkräfte, welche auf die Gränzflächen des Flüssigkeitsstückes wirken, offenbar einander gleich, weil auf die freie Oberfläche des Wassers überall der atmosphärische Druck wirkt und daher der Druck auf die verschiedenen Punkte eines Querschnittes der Flüssigkeit sich gleich bleibt, an welcher Stelle des Kanals der Querschnitt auch genommen werden mag. Die beiden auf die Gränzflächen des Flüssigkeitsstückes wirkenden Kräfte heben sich daher auf und es

bleiben nur noch die beiden unter 1. und 3. genannten Kräfte übrig, die sich gegenseitig das Gleichgewicht halten müssen. Es muss daher die Seitenkraft des Gewichtes unseres Flüssigkeitsstückes, welche parallel mit dem Kanalbette wirkt, gleich sein dem Widerstande, der aus der Reibung des Wassers an den Uferwänden, am Bette und an der Luft herrührt. Man sieht hieraus, dass das Kanalbett nothwendig geneigt sein muss, wenn eine regelmässige, permanente Bewegung des Wassers erfolgen soll; da ferner die genannte aus dem Gewichte des Flüssigkeitsstückes herrührende, in der Richtung der Bewegung wirkende Seitenkraft um so grösser ist, je mehr Neigung das Kanalbett hat, so muss auch die Geschwindigkeit des Wassers mit der Grösse dieser Neigung wachsen, da nur in diesem Falle die Reibung des Wassers gegen die Uferwände wächst (§. 94) und damit zugleich der gesammte Widerstand gross genug werden kann, um der gedachten beschleunigend wirkenden Seitenkraft das Gleichgewicht zu halten.

104 **Bewegung des Wassers in den Flüssen.** Die Bewegung des Wassers in einem Flusse erfolgt in ähnlicher Weise wie in einem Kanale, sie zeigt jedoch in ihrem ganzen Verlaufe weniger Regelmässigkeit, weil das Flussbett auf seiner ganzen Ausdehnung nicht überall dieselbe Breite und Tiefe, und auch der Abhang desselben nicht überall eine gleiche Grösse hat. Wenn aber ein Fluss auf eine gewisse Strecke nicht gar zu grosse Unregelmässigkeiten zeigt, so kann man annehmen, dass auf dieser Strecke das Wasser sich wie in einem Kanal bewegt und daher die für diesen Fall bereits gefundenen Gesetze auf diesen Theil des Flusses anwenden. Die Wassermenge eines Flusses nimmt in der Regel durch Nebenflüsse oder unsichtbare aus dem Flussbette entspringende Quellen von der Quelle bis zu seiner Mündung zu. Wenn wir annehmen, dass der Fluss auf eine gewisse Strecke im Beharrungszustande ist und daher durch jeden seiner Querschnitte in der Secunde eine gleiche Wassermenge fliesst, welche nach dem Vorigen (§. 102) das Product $v \,.\, F$ aus der mittleren Geschwindigkeit v des Wassers und dem Inhalte F des Querschnittes ist, so ist leicht erklärlich, warum die Geschwindigkeit des Wassers von einem Punkte zum anderen oft sehr beträchtlich sich ändert. Da nämlich der Inhalt F eines Querschnittes im Flusse von seiner Tiefe und Breite abhängig ist und daher grösser wird, wenn die Tiefe und die Breite zunehmen, so muss in

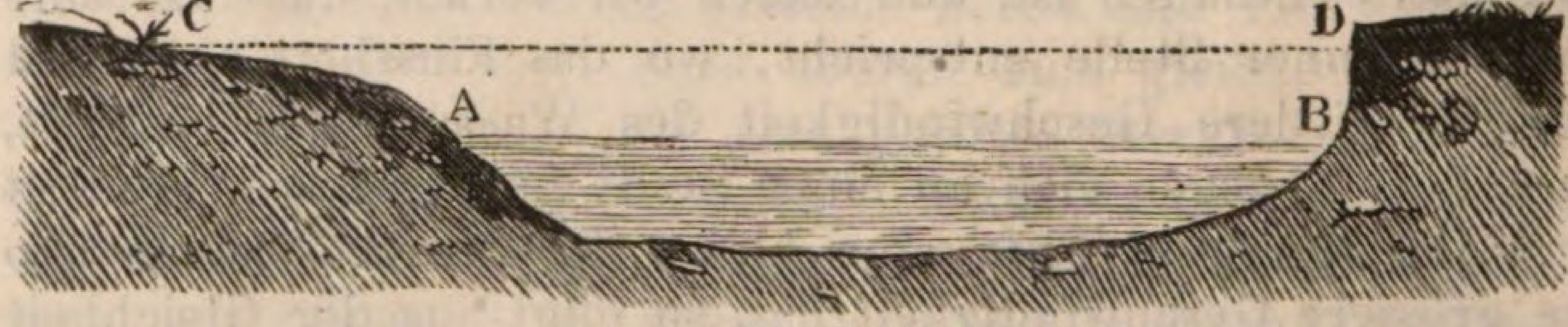
demselben Maasse die mittlere Geschwindigkeit des Wassers kleiner werden, wie die Tiefe und Breite des Flusses wachsen. Hiernach sehen wir das Wasser an den breiten und tiefen Stellen des Flusses fast stillstehen, während es sich da, wo die Ufer einander näher rücken und die Tiefe abnimmt, mit grosser Geschwindigkeit fortbewegt.

Wählen wir, um dieses noch klarer zur Anschauung zu bringen, ein Zahlenbeispiel. An einer bestimmten Stelle habe ein Fluss eine Breite von 560 Fuss, eine mittlere Tiefe von 9 Fuss und eine mittlere Geschwindigkeit von $2\frac{1}{4}$ Fuss, so wird der Querschnitt an dieser Stelle $9 \times 560 = 5040$ Quadratfuss und die secundlich durchfliessende Wassermenge $2\frac{1}{4} \cdot 5040 = 11340$ Kubikfuss betragen. Wenn nun der Fluss an einer anderen Stelle nur eine Breite von 320 Fuss und eine mittlere Tiefe von $7\frac{1}{2}$ Fuss, also einen Querschnitt von $320 \times 7\frac{1}{2} = 2400$ Quadratfuss hat, so muss die mittlere Geschwindigkeit des Wassers, wenn dieselbe Wassermenge von 11340 Kubikfuss in jeder Secunde durch diesen Querschnitt passiren soll, offenbar $\frac{11340}{2400} = 4{,}725$ Fuss betragen. Nehmen wir ferner zwei Flüssigkeitsstücke von gleichem Volumen an, von denen ein jedes zwischen zwei sehr nahe aneinander liegenden Querschnitten des Flusses enthalten ist, und setzen wir voraus, dass das eine derselben einer Stelle entspricht, wo das Flussbett breit und tief, die mittlere Geschwindigkeit des Wassers also klein ist, das andere dagegen sich an einer Stelle befindet, wo das Bett bei einer geringen Tiefe eine kleine Breite, das Wasser also eine grössere Geschwindigkeit hat, so folgt aus der Gleichheit des Volumens dieser beiden Flüssigkeitsstücke, dass die Entfernung der beiden Gränzflächen oder der beiden die gleiche Wassermenge zwischen sich enthaltenden Querschnitte bei dem zweiten Flüssigkeitsstück grösser sein muss, als bei dem ersten. Hieraus ist aber leicht nachzuweisen, dass das zweite Flüssigkeitsstück auch auf eine grössere Ausdehnung mit den umgebenden festen Wänden in Berührung steht und daher eine grössere Reibung erleidet, als das erstere. Ausserdem aber hat dieses zweite Flüssigkeitsstück auch noch eine grössere Geschwindigkeit, als das erstere, weshalb dasselbe aus doppeltem Grunde einen grösseren Widerstand erleidet als letzteres. Da nun dieser Widerstand bei jedem Flüssigkeitsstück ausschliesslich von der aus seinem Gewichte herrührenden in der Richtung der Bewegung wirkenden Seitenkraft überwunden

werden muss, und die Gewichte der beiden Stücke einander gleich sind, so folgt hieraus, dass die Bahnen der einzelnen Flüssigkeitstheilchen in dem zweiten Flüssigkeitsstück eine grössere Neigung haben müssen, als in dem ersten, oder dass die Oberfläche des zweiten Stückes mehr gegen den Horizont geneigt sein muss, als die des ersten. Wo daher das Flussbett breit und tief ist, bildet die freie Oberfläche des Wassers beinahe eine wagerechte Ebene, wogegen an den engen Stellen, durch welche das Wasser eben wegen der Verengung des Querschnittes mit grosser Geschwindigkeit hindurchgeht, die freie Oberfläche eine deutlich hervortretende Neigung annimmt.

105 Wenn das Wasser eines Flusses stark gestiegen ist, so ist seine Geschwindigkeit grösser, als bei gewöhnlichem Wasserstande. Um dieses zu erklären, braucht man nur zu untersuchen, in welcher Weise die beiden Kräfte, welche sich für jedes Flüssigkeitsstück stets das Gleichgewicht halten müssen, mit dem verschiedenen Stande des Wasserspiegels sich ändern. Nehmen wir an, dass für die gewöhnlichen Fälle die freie Oberfläche des Wassers in *AB*, Fig. 149, liege, und dass das

Fig. 149.

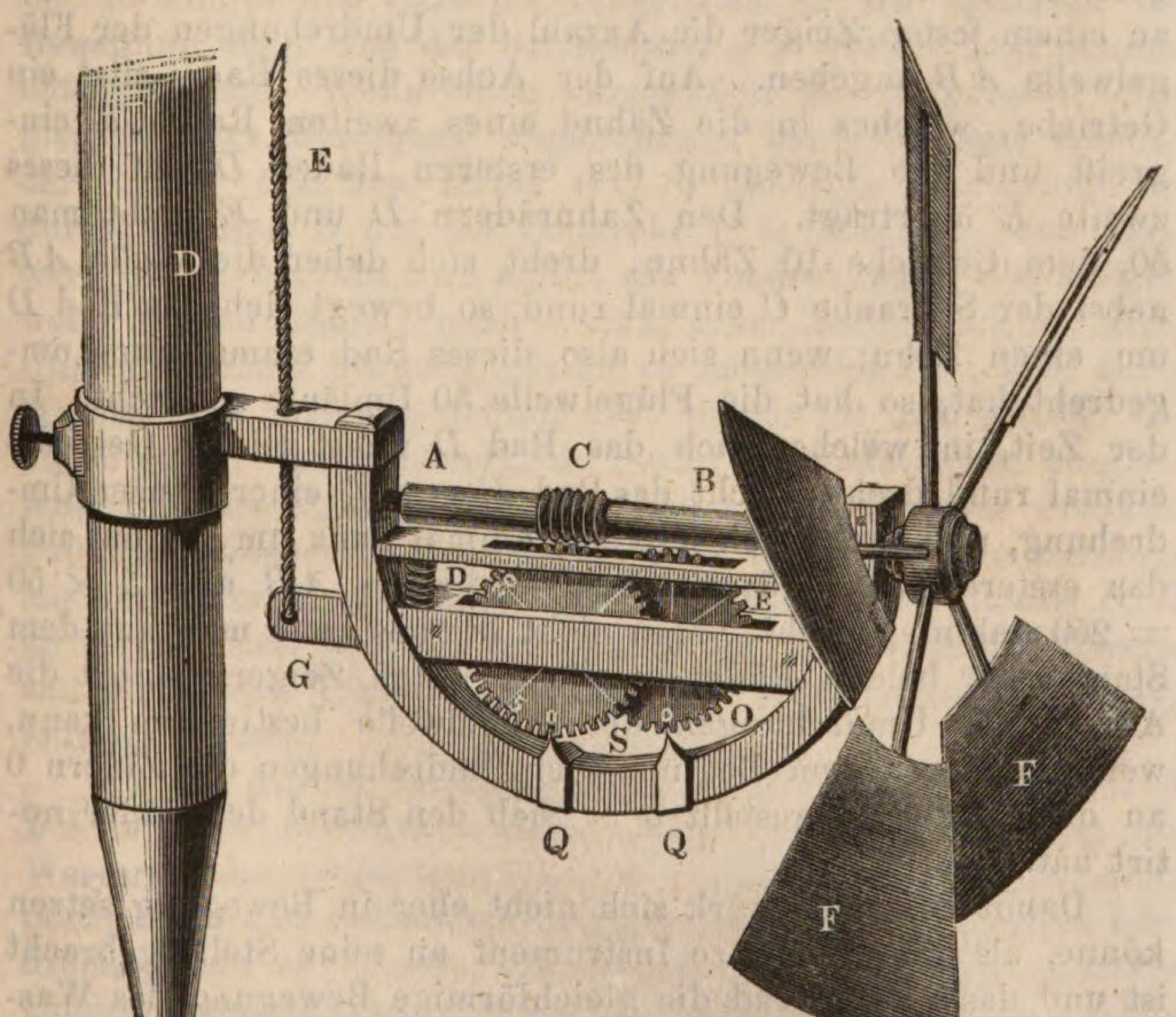


Wasser bis *CD* gewachsen sei; nehmen wir ferner an, dass der Querschnitt des Wassers im letzteren Falle doppelt so gross sei, als im ersteren, so ist die zwischen zwei benachbarten Querschnitten liegende Wassermenge doppelt so gross als anfangs, dagegen ist die von der Flüssigkeit bespülte Wandfläche nicht in demselben Verhältnisse gewachsen. Wenn nun die Geschwindigkeit des Wassers bei dem höheren Wasserstande dieselbe bliebe, wie sie bei dem niederen war, so könnte zwischen der aus dem Gewichte des Flüssigkeitsstückes herrührenden beschleunigend wirkenden Seitenkraft und dem dieser Beschleunigung entgegen wirkenden Widerstande nicht mehr Gleichgewicht bestehen, da die erstere Kraft durch das Steigen des Niveaus doppelt so gross geworden, die letztere Kraft dagegen nicht auf das Doppelte angewachsen ist. Soll auch jetzt

noch zwischen diesen beiden Kräften Gleichgewicht bestehen, so muss nothwendig der Widerstand noch aus einer anderen Ursache, als der Vergrösserung der Reibungsflächen wachsen, um ebenfalls auf das Doppelte der anfänglichen Grösse zu kommen. Diese andere Ursache ist eben die Zunahme der Geschwindigkeit des Wassers, da nach §. 94 mit der Geschwindigkeit auch die Reibung an den Wänden und damit der gesammte Widerstand wächst.

Messung der Geschwindigkeit des fliessenden Wassers. — Hydrometer. Um die Geschwindigkeit des fliessen- 106
den Wassers in irgend einer Tiefe zu finden, wendet man mit Vortheil das hydrometrische Flügelrad von Woltmann

Fig. 150



an. Dasselbe besteht aus einer horizontalen Welle AB, Fig. 150, die auf ihrer Mitte mit ein paar Schraubengängen C, an ihrem

einen Ende aber mit 2 bis 5 schief gegen die Achsenrichtung stehenden Schaufeln oder Flügeln *F*, *F* versehen ist. Wenn diese Welle *AB* unter Wasser getaucht und der Bewegungsrichtung desselben entgegengestellt wird, so treffen die einzelnen Wasserfäden wie der Wind gegen die Flügel der Windmühle in schiefer Richtung auf die ihnen entgegenstehenden Schaufeln *F*, *F* und setzen dadurch das Schaufelrad nebst der Welle *AB* in Bewegung. Je grösser die Geschwindigkeit des Wassers ist, desto schneller dreht sich auch diese Achse, und es ist leicht einzusehen, dass man aus der Anzahl der Umdrehungen innerhalb einer bestimmten Zeit die Geschwindigkeit des Wassers bestimmen kann.

Zu diesem Zwecke lässt man die Schraubenwindungen *C* zwischen die Zähne eines darunter befindlichen Rades *D* eingreifen, auf dessen Seitenflächen Ziffern eingravirt sind, welche an einem festen Zeiger die Anzahl der Umdrehungen der Flügelwelle *AB* angeben. Auf der Achse dieses Rades sitzt ein Getriebe, welches in die Zähne eines zweiten Rades *E* eingreift und die Bewegung des ersteren Rades *D* auf dieses zweite *E* überträgt. Den Zahnrädern *D* und *E* giebt man 50, dem Getriebe 10 Zähne; dreht sich daher die Welle *AB* nebst der Schraube *C* einmal rund, so bewegt sich das Rad *D* um einen Zahn; wenn sich also dieses Rad einmal ganz umgedreht hat, so hat die Flügelwelle 50 Umläufe gemacht. In der Zeit, in welcher sich das Rad *D* nebst seinem Getriebe einmal rund dreht, macht das Rad *E* nur $1/_5$ einer ganzen Umdrehung, und dreht sich letzteres einmal ganz um, so hat sich das erstere Rad *D* 5mal, die Flügelwelle *AB* also $5 \times 50 = 250$ mal umgedreht. Man sieht hieraus, wie man aus dem Stande .der beiden Räder an ihren festen Zeigern sofort die Anzahl der Umdrehungen der Flügelwelle bestimmen kann, wenn man vor dem Beginne der Umdrehungen die Ziffern 0 an die Zeiger eingestellt oder sich den Stand der Räder notirt hat.

Damit das Räderwerk sich nicht eher in Bewegung setzen könne, als bis das ganze Instrument an seine Stelle gebracht ist und das Schaufelrad die gleichförmige Bewegung des Wassers angenommen hat, laufen die Achsen der Räder *D* und *E* in Pfannen, welche auf einem beweglichen Hebel *GO* sitzen. Zieht man mittelst einer über die Oberfläche des Wassers herausragenden Schnur *GE* den Hebel *GO* in die Höhe, so kommen die Zähne des Rades *D* mit der Schraube *C* der Flü-

gelwelle in Eingriff; lässt man dagegen die Schnur *GE* los, so drückt eine Feder den Hebel *G O* herab und rückt damit das Rad *D* aus den Windungen der Schnecke *C* aus; bei dieser Bewegung des Hebels fallen die Zahnlücken der beiden Räder in zwei darunter befindliche Sperrer *Q Q*, welche jede weitere Bewegung der Räder sofort verhindern. Die ganze Vorrichtung lässt sich auf einer langen Stange *D* auf- und abschieben und mittelst einer Druckschraube in jedem beliebigen Punkte derselben feststellen.

Will man mit diesem Instrumente die Geschwindigkeit des Wassers bestimmen, so stellt man es an der Stange *D* in einem Punkte fest, dass es sich, wenn darauf die Stange in das Flussbett eingestossen worden ist, an der Stelle befindet, wo die Geschwindigkeit gemessen werden soll; die Stange *D* wird dabei so eingestellt, dass die Flügelwelle in der Richtung der Bewegung liegt und das Schaufelrad *FF* voraus dem Strome entgegensteht. Wenn nach kurzer Zeit die Flügelwelle eine gleichförmige Bewegung angenommen hat, zieht man mittelst der Schnur *GE* den Hebel *G O* in die Höhe und bringt dadurch das Rad *D* mit der Schnecke *C* in Eingriff. Das Zählwerk *D*, *E* beginnt nun sofort die Umdrehungen der Flügelwelle *AB* zu zählen; nach Verlauf einer bestimmten an einer Uhr oder einem Secundenpendel zu messenden Zeit, z. B. einer Minute, lässt man die Schnur *GE* wieder los und arretirt dadurch sofort das Zählwerk, da die in die Zahnlücken eingreifenden beiden Sperrer *Q*, *Q* die Räder *D*, *E* an jeder weiteren Drehung hindern. Man zieht dann die ganze Vorrichtung aus dem Wasser und kann aus dem Stande der Räder *D*, *E* an ihren festen Zeigern die Anzahl der in der Beobachtungszeit gemachten Umdrehungen der Flügelwelle oder des Schaufelrades ablesen.

Da die Anzahl der Umdrehungen, welche das Schaufelrad *FF* in einer bestimmten Zeit macht, der Geschwindigkeit des Wassers nahe proportional ist, so braucht man nur die einer bestimmten und bekannten Geschwindigkeit entsprechende Umdrehungszahl zu kennen, um daraus die einer jeden anderen Umdrehungszahl entsprechende Geschwindigkeit zu finden. Wenn z. B. durch einen besonderen Versuch bestimmt worden ist, dass das Flügelrad in einer Secunde 6 Umdrehungen macht, wenn die Geschwindigkeit des Wassers 5 Fuss ist, so schliesst man hieraus, dass der Geschwindigkeit des Wassers von 1 Fuss in der Secunde die Umdrehungszahl $1^1/_5$ des Flügelrades oder auch,

dass einer ganzen Umdrehung des Rades eine Geschwindigkeit von $^5/_6$ Fuss in der Secunde entspricht. Hat man daher beobachtet, dass das Flügelrad in einer Minute 240, also in einer Secunde 4 Umdrehungen gemacht hat, so ist die Geschwindigkeit des Wassers $4 \times {}^5/_6 = 3^1/_3$ Fuss in der Secunde.

Die Geschwindigkeit, mit welcher das Schaufelrad umläuft, wenn das Wasser eine bestimmte Geschwindigkeit, z. B. 5 Fuss in der Secunde hat, hängt von der Grösse und der Stellung der Schaufeln *FF* ab. Um diese Umdrehungszahl zu finden, stellt man den Hydrometer in ein fliessendes Wasser von bekannter Geschwindigkeit, oder man bewegt denselben mit einer bekannten Geschwindigkeit in gerader Richtung durch ein stillstehendes Wasser.

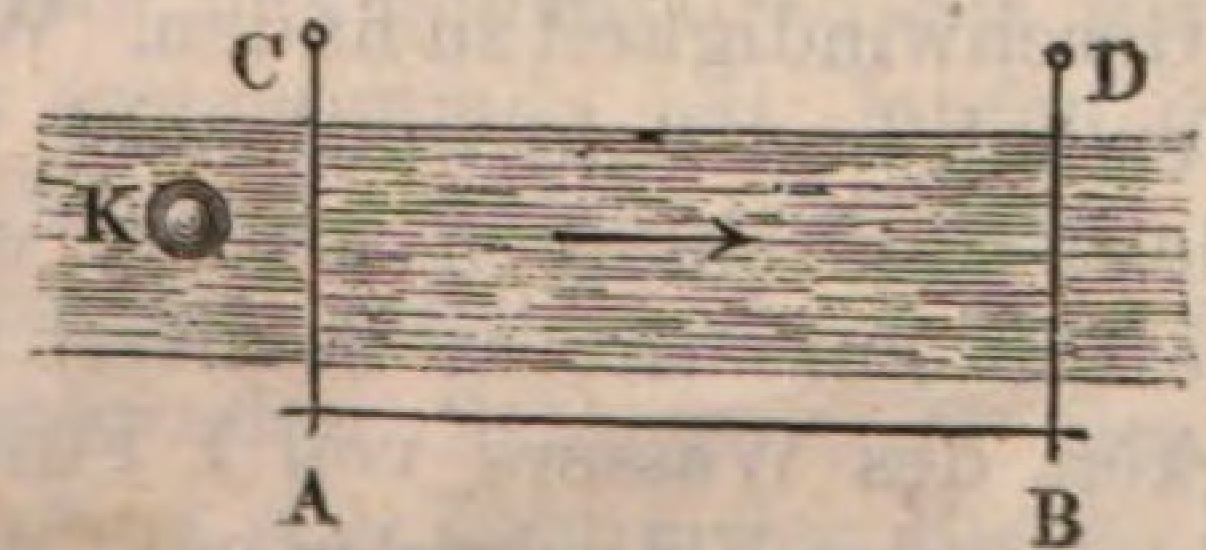
107 Mit dem vorhin beschriebenen Woltmann'schen Hydrometer bestimmt man die Geschwindigkeit eines fliessenden Wassers in irgend einer Tiefe unterhalb der freien Oberfläche. Will man dagegen die Geschwindigkeit des Wassers in der Oberfläche selbst bestimmen, so wendet man entweder ein kleines Blechrädchen, Fig. 151, an, von welchem bloss der untere Theil ins Wasser eingetaucht und die Anzahl der Umdrehungen wie beim vorigen Hydrometer durch ein Räderwerk angegeben wird, oder man bedient sich am einfachstcn einer Schwimmkugel (§. 102), welche gar nicht oder nur sehr wenig aus der Oberfläche des Wassers hervorragt.

Fig. 151.



Wenn die Strömung auf eine gewisse Strecke regelmässig ist, so ist die Bewegung des Schwimmers auf diese Strecke gleichförmig und man hat dann nur an einer guten Secundenuhr oder an einem halbe Secunden schlagenden Pendel die Anzahl Secunden t zu beobachten, welche der Schwimmer gebraucht, um eine an dem Ufer abgesteckte und gemessene Strecke $AB = s$, Fig. 152, zurückzulegen. Um diese Zeit genau zu finden, werden am jenseitigen Ufer zwei verticale zu AB senkrecht stehende Signalstangen C und D eingesteckt. Stellt man sich dann hinter

Fig. 152.



A, und beobachtet den Zeitpunkt, wann der etwas oberhalb *A* eingesetzte Schwimmer *K* in das Alignement *AC* kommt, stellt sich dann hinter *B* und beobachtet abermals an der Uhr den Zeitpunkt, wo der Schwimmer *K* in das Alignement *BD* anlangt, so findet man durch Subtraction der Beobachtungszeiten die gesuchte Zeit t in Secunden, welche der Schwimmer *K* zur Durchlaufung der Strecke $AB = s$ gebraucht hat. Die Geschwindigkeit v des Wassers in der Secunde ist dann offenbar $v = \frac{s}{t}$.

Die mittlere Geschwindigkeit des Wassers. Es giebt 108
verschiedene Mittel, um aus den an der Oberfläche oder in gewissen Tiefen gemessenen Geschwindigkeiten des Wassers die mittlere Geschwindigkeit desselben (§. 102) zu bestimmen; wir werden uns damit nicht weiter beschäftigen, theilen aber im Nachstehenden eine Tabelle mit, aus welcher man nach den von Dubuat angestellten Versuchen aus der beobachteten Oberflächengeschwindigkeit eines Flusses ohne grossen Fehler die mittlere Geschwindigkeit desselben finden kann.

Geschwindigkeit an der Oberfläche.	Mittlere Geschwindigkeit.	Geschwindigkeit an der Oberfläche.	Mittlere Geschwindigkeit.
Fuss	Fuss	Fuss	Fuss
0,20	0,15	2,20	1,88
0,40	0,31	2,40	2,06
0,60	0,47	2,60	2,25
0,80	0,64	2,80	2,43
1,00	0,81	3,00	2,62
1,20	0,98	3,20	2,81
1,40	1,16	3,40	3,00
1,60	1,34	3,60	3,18
1,80	1,52	3,80	3,37
2,00	1,70	4,00	3,56

Die Geschwindigkeit der Seine ist in der Nähe von Paris 23 bis 25 Zoll; die Geschwindigkeiten der Rhone und des Rheines sind ungefähr 6 Fuss und wachsen bei Hochwasser sogar bis zu 25 Fuss.

109 **Messung der Wassermenge eines Flusses.** Um das von einem fliessenden Wasser in einer bestimmten Zeit gelieferte Wasserquantum zu bestimmen, wendet man verschiedene Mittel an, je nachdem diese Wassermenge wie bei grösseren Bächen und Flüssen sehr bedeutend, oder wie bei Gräben und Röhrenleitungen verhältnissmässig klein ist.

Das einfachste Mittel, die secundliche Wassermenge eines Flusses zu bestimmen, besteht darin, dass man den Querschnitt der Flüssigkeit mit der mittleren Geschwindigkeit, welche sie in der Nähe dieses Querschnittes besitzt, multiplicirt (§. 102).

Wie man diese mittlere Geschwindigkeit bestimmt, haben wir so eben näher kennen gelernt. Um aber den Inhalt des Querprofils der Flüssigkeit zu erhalten, muss die Breite und die Tiefe des Wassers gemessen werden. Die Breite findet man bei Kanälen und kleinen Bächen *EGF*, Fig. 153, durch

Fig. 154.

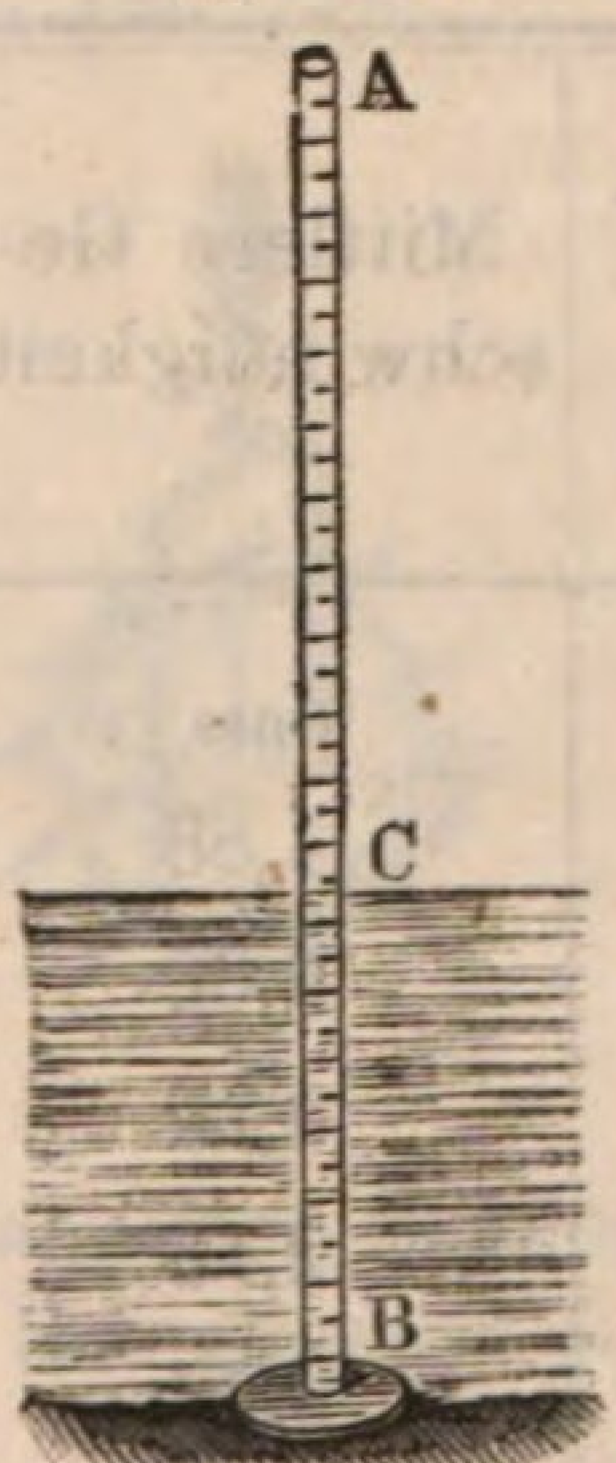


Fig. 153.



Ausspannen einer Messkette *AB* oder Legen einer Stange quer über das fliessende Wasser; bei breiten Flüssen dagegen muss sie durch besondere Messvorrichtungen ermittelt werden. Die Tiefe des Wassers misst man mit einer eingetheilten Sondirstange *AB*, Fig. 154, deren unteres Ende mit einem Brettchen *B* versehen ist, womit die Stange auf das Wasserbett aufgesetzt wird. Bei grösseren Tiefen bedient man sich zu demselben Zwecke einer längeren Sondirkette, an deren Ende ebenfalls eine eiserne Platte hängt.

Wenn man annimmt, dass der Wasserlauf, dessen Ufer steil abfallen, der ganzen Breite entlang dieselbe Tiefe hat, so

ist der Querschnitt ein Rechteck, dessen Inhalt man erhält, wenn man die gemessene Breite mit der Tiefe multiplicirt. Wenn dagegen, wie es gewöhnlich der Fall ist, die Tiefe sich nicht gleich bleibt, so misst man sie in der vorhin angegebenen Weise der ganzen Breite entlang in Punkten, die gleich weit von einander abstehen, etwa in Abständen von 4 zu 4 Fuss, Fig. 153. Man betrachtet dann den zwischen je zwei aufeinander folgenden Tiefen liegenden Theil des ganzen Querprofils EGF als ein Trapez, welches diese beiden Tiefen zu parallelen Seiten und den auf der Messkette AB liegenden horizontalen Abstand der beiden Tiefen zur Höhe hat. Durch Addition dieser einzelnen Trapeze erhält man dann schliesslich den Inhalt des ganzen Querprofils des Flusses.

Wenn sich z. B. durch die Messung ergiebt, dass das fliessende Wasser eine Breite von 30 Fuss und überall eine Tiefe von $4\frac{1}{2}$ Fuss hat, so ist der Querschnitt desselben $30 \times 4\frac{1}{2} = 135$ Quadratfuss; ist dabei die mittlere Geschwindigkeit des Wassers $3\frac{1}{2}$ Fuss, so erhält man für die secundliche Wassermenge $135 \times 3\frac{1}{2} = 472\frac{1}{2}$ Kubikfuss.

Wenn dagegen wie in Fig. 153 die einzelnen Tiefen längs der Breite AB in Abständen von 8 zu 8 Fuss gemessen in der Richtung von A nach B der Reihe nach zu 6, 10, 11, $10\frac{1}{2}$, 8 Fuss gefunden würden, so würde man den Inhalt des ganzen Querprofils EGF durch Addition der sechs einzelnen Theile (Dreiecke und Trapeze) finden, und zwar wäre derselbe:

$$\frac{8}{2}\left(6 + (6 + 10) + (10 + 11) + (11 + 10\tfrac{1}{2}) + (10\tfrac{1}{2} + 8) + 8\right)$$
$$= 4 \times 91 = 364 \text{ Quadratfuss.}$$

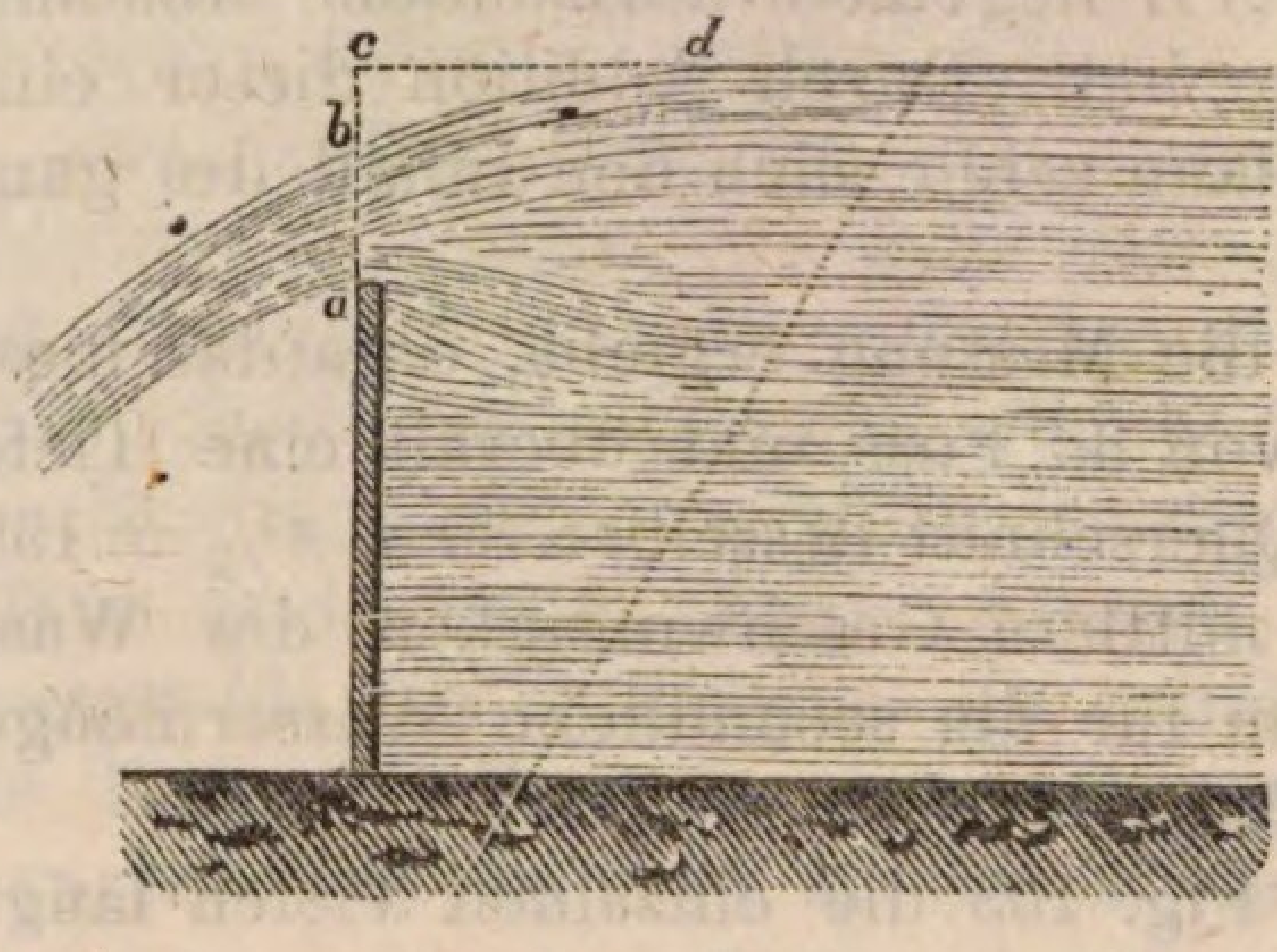
Bei einer mittleren Geschwindigkeit des Wassers von 2,4 Fuss wäre dann die secundliche durch diesen Querschnitt passirende Wassermenge $2{,}4 \times 364 = 873{,}6$ Kubikfuss.

Man kann einen Wasserlauf schon zu den Flüssen rechnen, wenn er in seinem gewöhnlichen Zustande eine Wassermenge von 300 bis 400 Kubikfuss in der Secunde liefert. Wenn die secundliche Wassermenge auf 1000 bis 1300 Kubikfuss sich beläuft, so ist der Fluss meistens schiffbar. Geht die Wassermenge über 3000 Kubikfuss hinaus, so gehört der Wasserlauf schon zu den Strömen. Die Seine z. B. giebt unter den gewöhnlichen Umständen zu Paris eine Wassermenge von ungefähr 4200 Kubikfuss, die Garonne zu Toulouse ungefähr 4850 Kubikfuss und die Rhone zu Lyon mehr als 19400 Kubikfuss in der Secunde. Im Uebrigen ist es bekannt, dass die Wassermenge eines und

desselben Flusses zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden zu sein pflegt; die Wassermenge der Rhone z. B. sah man schon auf 6470 Kubikfuss herabsinken, während sie am 12. Februar 1815 bis auf 186630 Kubikfuss stieg.

110 Ein anderes einfaches Mittel, um das Wasser in einem Gerinne zu messen, besteht in dem Einsetzen eines an der oberen Kante abgeschrägten Brettes *a*, Fig. 155, wodurch das Wasser genöthigt wird, in einem sogenannten Ueberfall abzufliessen. Man bringt dergleichen Ueberfälle zuweilen vorübergehend zu bestimmten Zwecken an, z. B. um das Wasser aufzustauen; aber man richtet sie auch bloss zu dem Zwecke ein, um die Wassermenge eines nicht sehr wasserreichen Gerinnes mit einer grösseren Genauigkeit, als es bei der Sondirungsmethode möglich ist, zu bestimmen.

Fig. 155.

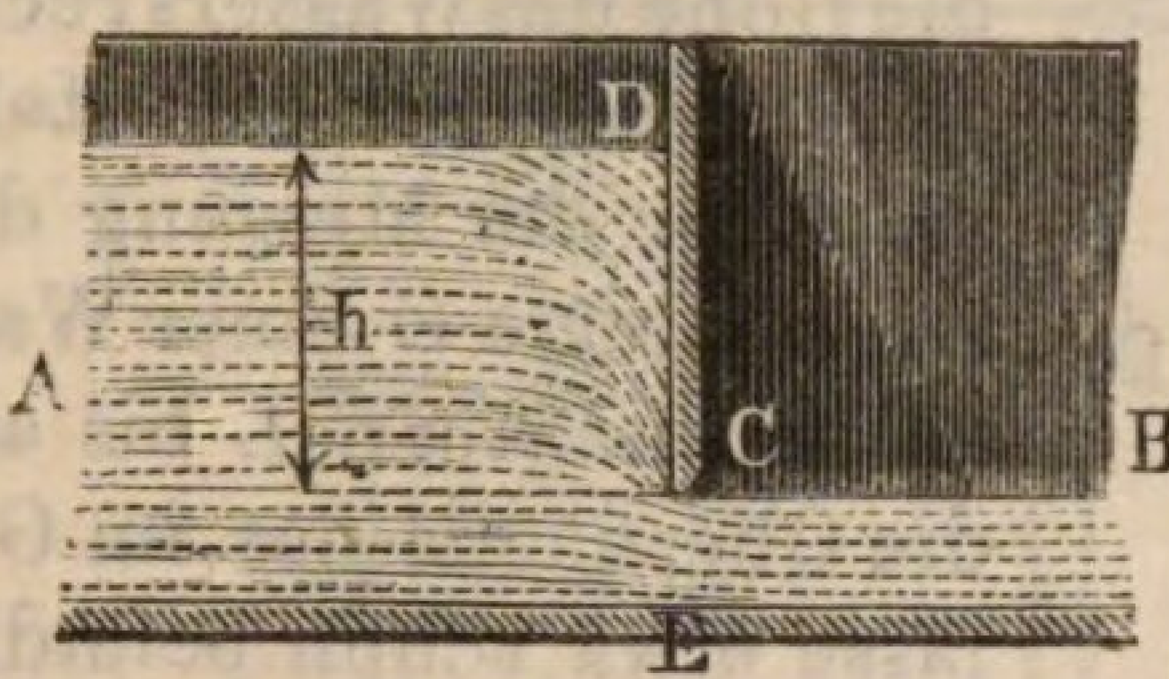


Betrachtet man einen solchen Ueberfall genauer, so gewahrt man leicht, dass der Wasserspiegel sich merklich senkt, bevor er die durch das Brett *a* gelegte Verticalebene erreicht, Fig. 155. Die Dicke der über das Brett *a* abfliessenden Wasserschicht beträgt nicht mehr als 0,72 der Höhe *ac* des wagerechten Wasserspiegels *dc* über die obere Kante des Brettes. Nach den zahlreichen Versuchen von Poncelet und Lesbros verfährt man nun, um mittelst eines solchen Ueberfalles die secundliche Wassermenge zu erhalten, auf folgende Weise. Man berechnet den Inhalt des Rechtecks, gebildet aus der Breite des Ueberfalles (als Länge) und dem Unterschiede des Niveaus *ac* (als Höhe); diesen Inhalt multiplicirt man dann mit der Geschwindigkeit, welche der Fallhöhe *ac* entspricht (I. §. 106) und nimmt endlich 0,405 des erhaltenen Productes.

111 Nicht minder einfach kann die Wassermenge eines Baches oder eines Kanals gemessen werden, wenn man quer durch denselben ein unten abgeschrägtes Brett *DC*, Fig. 156, so einsetzt, dass unter demselben eine rechteckige Mündung *CE* übrig bleibt, durch welche das Wasser abfliessen kann. Das

ablaufende Wasser erleidet eine bedeutende Contraction, deren Grösse von den Dimensionen der Ausflussöffnung und von der Höhe des oberen Wasserspiegels über dieser Mündung abhängig ist. Auch hierüber haben Poncelet und Lesbros zahlreiche Versuche angestellt, nach denen man die secundliche Wassermenge für die gewöhnlichen Fälle und unter der Voraussetzung, dass das Schutzbrett DC mindestens 3,8 Zoll aufgezogen ist, auf folgende Weise findet. Man berechnet den Inhalt der Ausflussöffnung, für welche man (bei schief stehenden Schützen) denjenigen Querschnitt zu nehmen hat, welcher senkrecht zu der mittleren Richtung der Wasserstrahlen steht, und multiplicirt diesen Inhalt mit der Geschwindigkeit, welche der Höhe des oberen Wasserspiegels, bis zur Mitte der Ausflussöffnung gemessen, entspricht; dieses Product hat man dann noch mit 0,60 zu multipliciren.

Fig. 156.



Bezeichnet daher a die Mündungshöhe CE, b die Mündungsbreite und h die Druckhöhe von dem oberen Wasserspiegel bis zur Mitte der Mündung gemessen, so ist die dieser Höhe entsprechende Geschwindigkeit des Wassers $\sqrt{2gh}$ (§. 78), und daher das secundlich ausfliessende Wasserquantum Q für die genannten Fälle:

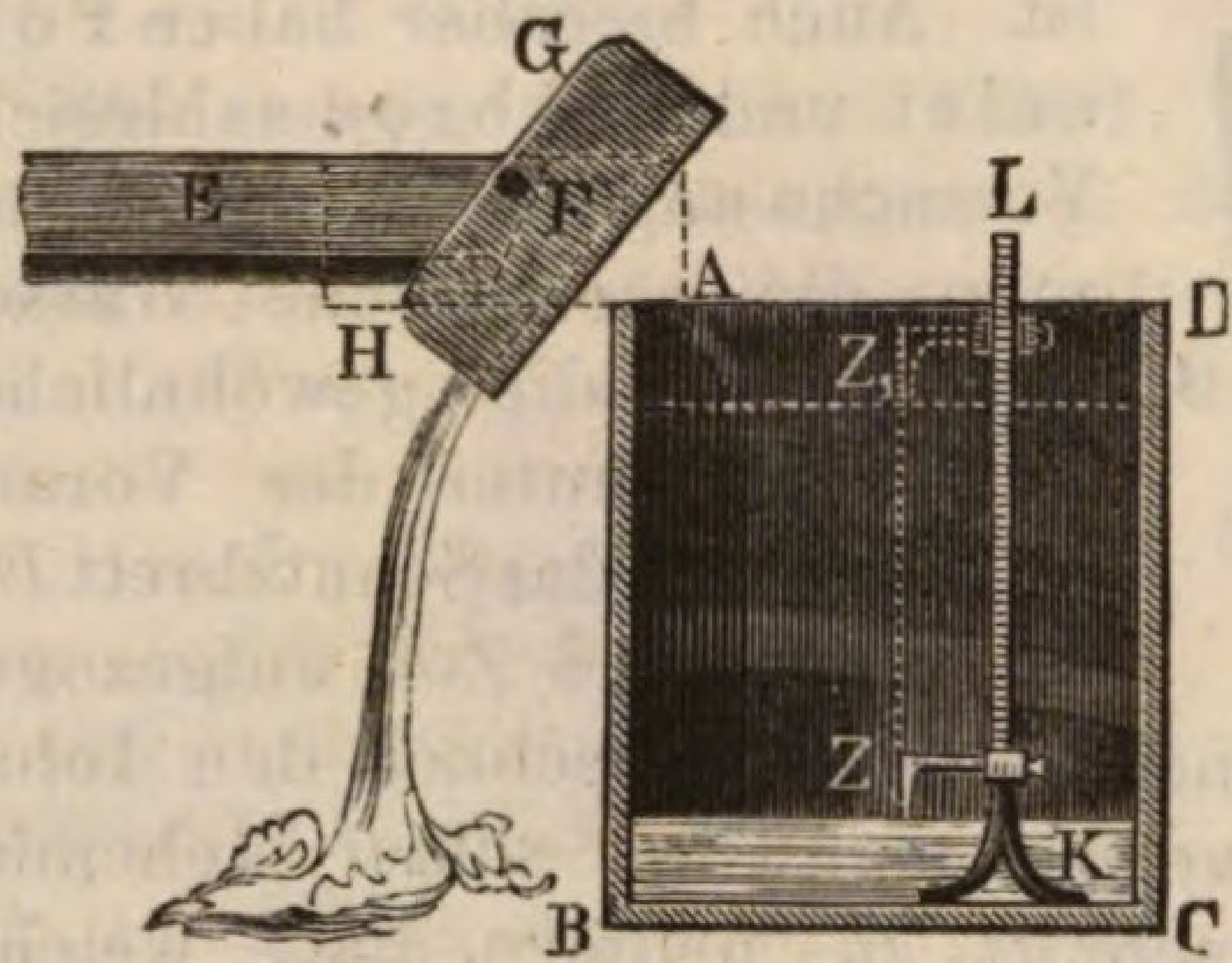
$$Q = 0{,}60 \, . \, a \, . \, b\sqrt{2gh}.$$

Für die einzelnen Fälle bei verschiedenen Mündungshöhen oder Druckhöhen des Wassers, oder wenn die rectanguläre Mündung auf die eine oder andere Weise mit inneren oder äusseren Einfassungen versehen ist, hat Lesbros Tabellen angefertigt, aus denen statt der Zahl 0,60 der jedesmalige Coefficient genommen werden muss, womit das oben erwähnte Product $a \, . \, b \sqrt{2gh}$ zu multipliciren ist, um das secundliche Wasserquantum zu erhalten.

Wassermesser. Um die Wassermenge zu bestimmen, 112
welche durch kleine Bäche oder bei den Wasserleitungen durch die Röhren in einer bestimmten Zeit abgeführt wird, wendet man besondere Vorrichtungen an, die man Wassermesser nennt. Für grössere Wassermengen dieser Art wendet man

in der Regel sogenannte Aichgefässe an, die meist in parallelepipedischer Form aus Brettern zusammengesetzt und mit eisernen Reifen versehen werden. Ein solches Gefäss *ABCD* zeigt die Fig. 157. Um darin die Höhe des Wassers recht genau zu erhalten, stellt man vor der Messung die Zeigerspitze *Z* einer Wasserstandsscala *KL* bis auf die Oberfläche des im Gefässe etwa schon befindlichen Wassers und legt die Doppelklappe *GH*, welche sich um eine Achse *F* drehen lässt, so um, dass das durch das Gerinne *E* zufliessende Wasser vor dem Aichgefässe ausfliesst. Sobald der Zufluss im Gerinne *E* den Beharrungszustand angenommen und man an der Uhr eine bestimmte Zeit für den Anfangspunkt der Messung abgewartet hat, legt man die Klappe *GH* um, so dass nun das Wasser in das Aichgefäss fliesst. Ist darauf das Gefäss ganz oder zum Theil gefüllt, so bringt man die Klappe wieder in die vorige Stellung und liest an der Uhr die Zeit als das Ende des Versuches ab. Stellt man dann die Zeigerspitze Z_1 wieder auf die Oberfläche des Wassers und liest an der Wasserstandsscala *LK* den neuen Stand ab, so ergiebt sich aus den Unterschieden der Uhr- und Zeigerangaben sofort das Wasserquantum, welches in einer bestimmten Zeit dem Aichgefässe zugeführt worden ist.

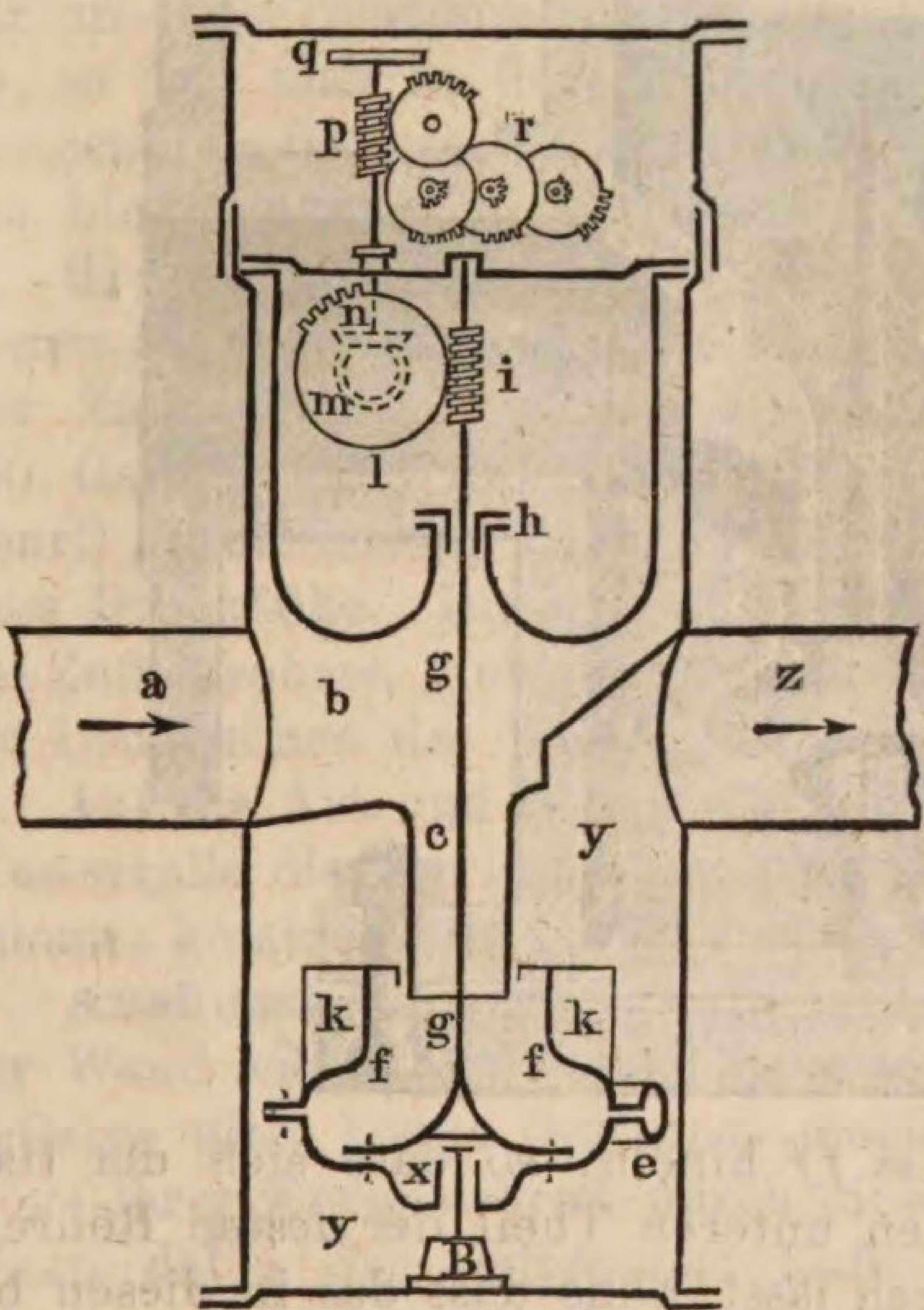
Fig. 157.



Anderer Art sind die Wassermesser, welche dazu dienen, bei Wasserleitungen die Menge des für häusliche und industrielle Zwecke in einer bestimmten Zeit verbrauchten Wassers zu messen. Alle solche Vorrichtungen beruhen auf dem gemeinschaftlichen Princip, Gefässe von bestimmtem Inhalte abwechselnd oder continuirlich zu füllen und wieder zu leeren, und die Anzahl der dadurch entstehenden Oscillationen oder Rotationen durch besondere Zählwerke (Compteurs) zu notiren. In ihrer inneren Einrichtung weichen sie jedoch sehr von einander ab, und bedürfen meist noch der Verbesserung, wenn sie auch bei den verschiedensten Druckhöhen richtige Angaben machen sollten. Zu den gebräuchlichsten Wassermessern gehört der Siemens'sche, dessen Einrichtung aus Fig. 158 leicht

zu erkennen ist. Er besteht aus einem Hohlgefässe *cffgkx*, welches auf einer verticalen Achse *gi* befestigt ist und sich mit dieser Achse in einem unteren Spurzapfen *B* und einer Stopfbüchse *h* leicht rund drehen lässt. Das Gefäss ist, wie Fig. 159 (a. f. S.) zeigt, an seinem unteren Ende mit krummen, nach einer und derselben Richtung gebogenen Ausflussröhren *e* versehen. Die Anzahl dieser Ausflussöffnungen variirt je nach der Grösse des Apparates zwischen drei und acht. Ausserdem ist der Mantel des Hohlgefässes mit vier dünnen Flügeln *k*, *k* (Fig. 160), versehen, welche wie die Windflügel bei den Uhren zur Regulirung der Bewegung dienen.

Fig. 158.

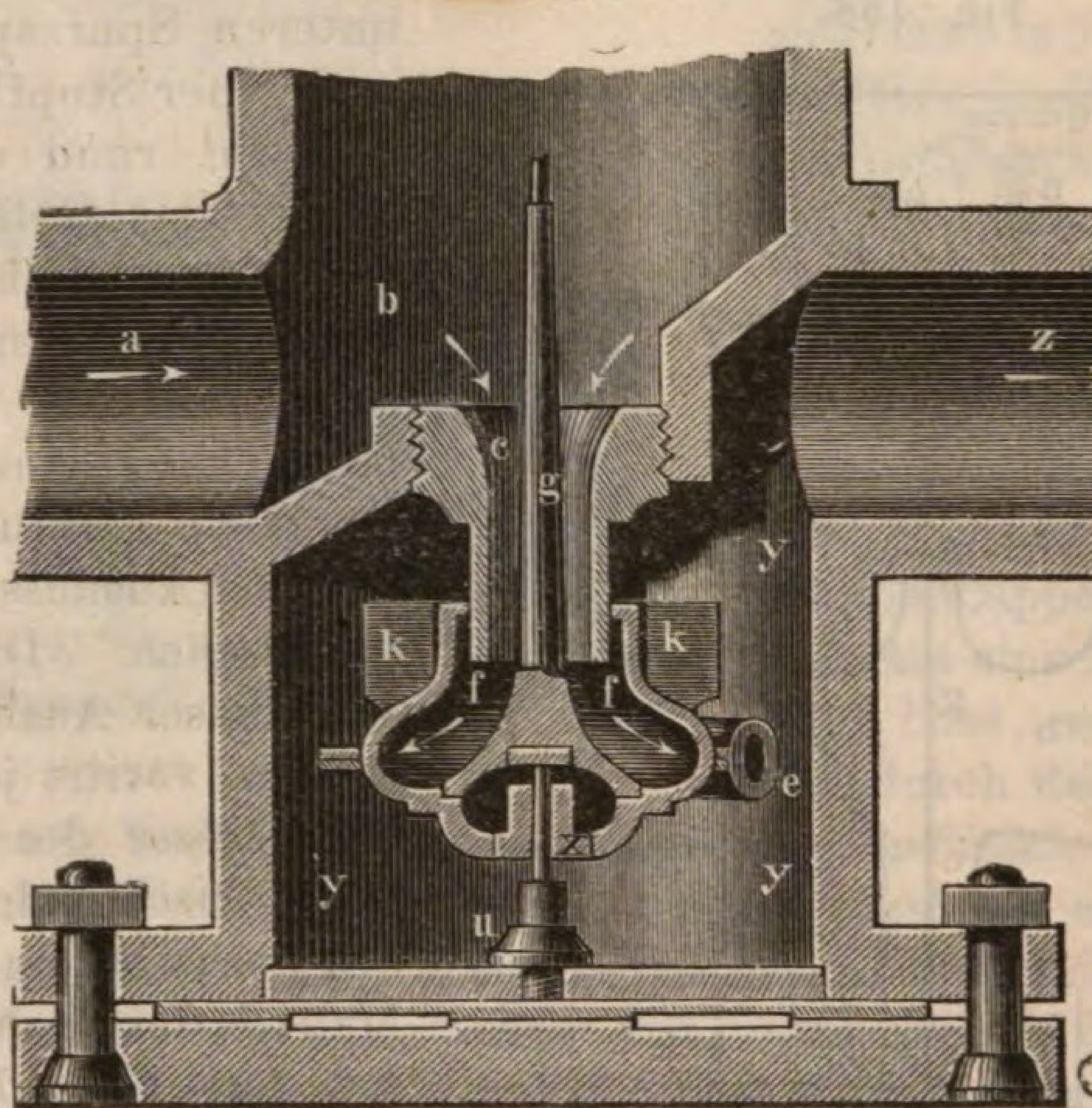


Oberhalb der Stopfbüchse *h* ist auf der Achse *gg* eine Schnecke oder endlose Schraube *i* aufgesetzt, welche in ein verticales Rad *l* eingreift und dieses bei der Rotation des Hohlgefässes und der Achse *gg* rund dreht. Durch die Bewegung des Rades *l* werden die Räder *m*, *n* und die verticale Achse *p* ebenfalls in Bewegung gesetzt; letztere trägt wieder eine Schnecke, welche schliesslich die Bewegung der Achse *gg* auf die Räder *r* eines besonderen Zählapparates, wie er unter anderen auch in den Gasmessern vorkommt, überträgt. Der Raum *ihl*, in welchem die erste Rädergruppe liegt, ist durch die Stopfbüchse *h* von dem Hohlgefässe *ff* ganz abgesperrt und mit Oel angefüllt, um das Wasser vom oberen Zählwerke *q*, *p*, *r* ganz abzuhalten und den Rädern einen möglichst leichten Gang zu verschaffen.

Das Wasser tritt aus der Röhrenleitung durch *a* in den unbeweglichen Raum *b*, der in eine verticale Leitröhre *c* aus-

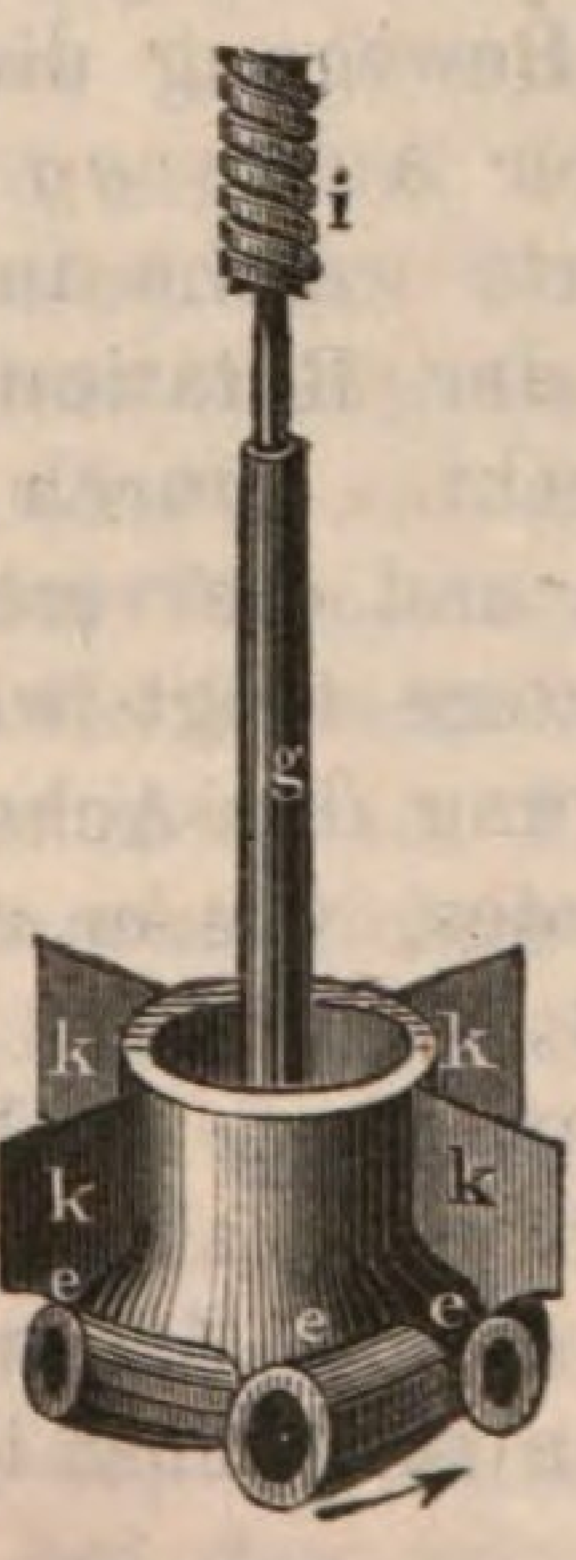
läuft. Der untere Theil dieser Röhre ist mit einer Stopfbüchse versehen und reicht durch diese hindurch bis in das eigent-

Fig. 159.



liche bewegliche Hohlgefäss *ff* hinein, so dass sich der Hals dieses Hohlgefässes um den unteren Theil der festen Röhre *c* drehen lässt, ohne dass das in diesen beweglichen Raum gelangende Wasser zwischen der Röhre *c* und dem Halse des Hohlgefässes entweichen kann. Auf diese Weise kann das durch die Röhrenleitung *a* in den Apparat eintretende Wasser nur durch die gebogenen Seitenarme *e* ausfliessen und bewirkt dadurch, wie wir später bei den Reactionsrädern näher angeben werden, dass sich das Hohlgefäss *ff* und seine Achse *gg* in einer Richtung umdrehen, welche der Ausflussrichtung des Wassers entgegengesetzt ist. Die Umdrehung des Hohlgefässes wird durch die Räderübersetzungen auf das Zählwerk im oberen Theile des Wassermessers übertragen. Das aus dem Radkörper *ff* ausgeflossene Wasser sammelt sich in dem umgebenden Raume *yy* an, von wo aus es durch das Abflussrohr *z* zum weiteren

Fig. 160.



Verbrauche in die Fortsetzung der Röhrenleitung gelangt. Wenn der Druck des Wassers constant bleibt und die übrigen Constructionsverhältnisse des Apparats richtig gewählt sind, hängt die Anzahl der Umdrehungen des Hohlgefässes *ff* nur von der in einer bestimmten Zeit durchgeflossenen Wassermenge ab, so dass man an dem Zählwerke *r* die Anzahl der Umdrehungen des Gefässes *ff* oder auch ohne Weiteres die Menge des hindurchgeflossenen Wassers in Kubikfussen ablesen kann.

Siemens liefert seine Wassermesser in vierzehn verschiedenen Grössen. Die kleinste Sorte, von $^3/_8$ Zoll Durchmesser der Zuflussröhre, lässt bei 50 Fuss Druckhöhe pro Stunde 150 Gallons (à 277,27 Kubikzoll engl. oder à 3,968 preuss. Quart) durchfliessen, dagegen 250 Gallons pro Stunde bei 150 Fuss Druckhöhe. Die grösste Sorte, von 12 Zoll Durchmesser des Zuflussrohres, giebt 90000 oder 154000 Gallons, je nachdem die Druckhöhen des Wassers 50 oder 150 Fuss betragen.

Auf die Art und Weise, wie man mittelst des sogenannten Wasserzolls die von Pumpenwerken gelieferte Wassermenge bestimmt, kommen wir später zurück.

Ausflussgeschwindigkeit eines Gases. Wenn man in 113
der Wand eines mit Luft oder einem anderen Gase gefüllten Gefässes eine kleine Oeffnung macht, so sucht dieselbe vermöge ihrer Expansivkraft durch diese Oeffnung zu entweichen. Wenn dabei das Gefäss mit Luft von derselben Spannung umgeben ist, so hält diese das eingeschlossene Gas zurück und verhindert es, zu entweichen; es ist dann gerade so, als wenn das Gefäss überhaupt keine Oeffnung hätte. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn ein Gefäss mit Luft von der äusseren atmosphärischen Spannung gefüllt und mit einer Oeffnung versehen ist; die eingeschlossene Luft entweicht dann nicht aus dem Gefässe. Wenn dagegen das Gefäss in einem luftleeren Raume sich befindet, oder mit einem Gase von geringerer Spannung umgeben ist, so strömt die eingeschlossene Luft des Gefässes aus diesem aus, und zwar mit einer um so grösseren Geschwindigkeit, je grösser der Ueberdruck der eingeschlossenen Luft, d. h. je grösser der Unterschied ist zwischen den Spannungen der eingeschlossenen Luft und des das Gefäss umgebenden Gases.

Um die Ausflussgeschwindigkeit eines Gases aus der Oeffnung in einer dünnen Wand zu bestimmen, stellen wir uns das Gas als eine Flüssigkeit von sehr geringer Dichtigkeit vor. Nehmen wir dann an, dass diese Flüssigkeit dieselbe Dichtigkeit habe, wie das Gas im Innern des Gefässes an der

Ausflussöffnung, und dass sie anstatt des Gases bis zu einer solchen Höhe in das Gefäss eingebracht werde, dass der daraus hervorgehende Druck an der Ausflussöffnung gleich dem Ueberdruck des Gases über den Druck des umgebenden äusseren Gases ist, so muss diese Flüssigkeit, welche an der Ausflussöffnung dieselbe Dichtigkeit hat und unter demselben Drucke steht, wie vordem das eingeschlossene Gas, auch mit derselben Geschwindigkeit wie das Gas aus dem Gefässe ausfliessen. Nun aber ist die Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit leicht zu bestimmen aus der Höhe der freien Oberfläche der Flüssigkeit über der Ausflussöffnung (§. 78); wenn daher die Dichtigkeiten des eingeschlossenen und des umgebenden Gases, oder der Ueberdruck des einen über das andere gegeben sind, so lässt sich die Ausflussgeschwindigkeit des eingeschlossenen Gases leicht bestimmen.

Ein Beispiel wird zeigen, wie man in allen ähnlichen Fällen hierbei zu verfahren hat. Nehmen wir an, dass der Druck der in einem Gefässe eingeschlossenen Luft von 0^0, gemessen an einem Manometer (§. 51 und 52), einer Quecksilbersäule von 77 Centimeter das Gleichgewicht halte, dass dagegen der Druck der umgebenden äusseren Luft nur 76 Centimeter betrage. Wenn man dann eine kleine Oeffnung in die dünne Gefässwand macht, so wird die eingeschlossene Luft in Folge ihres Ueberdrucks von 1 Centimeter Quecksilber aus dem Gefässe ausströmen. Die Dichtigkeit der Luft bei einer Temperatur von 0^0 und unter dem Drucke von 76 Centimeter ist 770mal so klein als die des Wassers, und daher 10472mal so klein als die des Quecksilbers. Da die Luft des Gefässes unter einem Drucke von 77 Centimeter steht, so ist ihre Dichtigkeit etwas grösser, und zwar findet man nach dem Mariotte'schen Gesetze (§. 43), dass sie dann nur 10336mal so klein ist, als die des Quecksilbers. Wenn aber eine Flüssigkeit von dieser Dichtigkeit in einem oben offenen Gefässe an der Ausflussmündung einen Druck von 1 Centimeter Quecksilber ausüben oder mit einer Quecksilbersäule von 1 Centimeter im Gleichgewichte stehen soll, so muss ihre freie Oberfläche nach dem Gesetze der communicirenden Röhren (§. 23) eine Höhe von 10336 Centimeter oder von 103,36 Meter haben. Hiernach ergiebt sich die Ausflussgeschwindigkeit einer solchen Flüssigkeit in der Secunde nach der Formel: $v = \sqrt{2\,g\,.\,h}$ (§. 79) oder da $g = 9{,}81$ Meter ist, sehr nahe $v = 45$ Meter; eben so gross ist auch die Ausflussgeschwindigkeit der Luft.

Allgemein also denkt man sich bei dem Ausflusse eines Gases die den Ueberdruck des Gases messende Manometerhöhe durch eine so viel mal höhere Luftsäule ersetzt, als die Dichtigkeit der Manometerflüssigkeit (des Quecksilbers oder des Wassers) grösser ist, als die des eingeschlossenen Gases. Wenn man also mit D die Dichtigkeit der Manometerflüssigkeit, mit d die des Gases und mit h die den Druck messende Manometerhöhe bezeichnet, so geschieht das Ausfliessen des Gases wie aus einem gewöhnlichen, oben offenen, mit Flüssigkeit gefüllten Gefässe, in welchem die Druckhöhe $\frac{D}{d} \cdot h$ ist. Demnach ist diese Ausflussgeschwindigkeit v allgemein:

$$v = \sqrt{2g \cdot \frac{D}{d} h}.$$

Aus dem vorstehenden Beispiele ersieht man zugleich, dass selbst bei einem kleinen Ueberdruck ein Gas mit einer bedeutenden Geschwindigkeit ausströmt, was davon herrührt, dass das von dem Ueberdrucke als einer bewegenden Kraft in Bewegung gesetzte Gas eine sehr geringe Masse hat. Ferner geht daraus hervor, dass bei gleichem Ueberdrucke des eingeschlossenen Gases die Ausflussgeschwindigkeit sich sowohl mit der Natur, als auch mit der Temperatur des Gases ändert, da dieselbe von der Dichtigkeit, welche das Gas vor dem Ausflusse besitzt, abhängig ist.

Die Ausflussmenge eines Gases. Die Gasmenge, welche 114
in einer gegebenen Zeit aus einer Oeffnung ausfliesst, kann man auf dieselbe Weise berechnen, wie es bei den Flüssigkeiten (§. 80) geschehen ist. Wenn man annehmen kann, dass die Gasmoleküle die Ausflussöffnung in einer dazu senkrechten Richtung passiren, so findet man die Menge des in einer Secunde ausfliessenden Gases, wenn man den Flächeninhalt der Ausflussöffnung mit der Ausflussgeschwindigkeit multiplicirt. Das so erhaltene Gasvolumen ist dasjenige, welches das Gas nach seinem Ausflusse einnehmen würde, wenn es dieselbe Dichtigkeit behalten würde, die es vor seinem Ausflusse in dem Gefässe besass. Da jedoch das ausfliessende Gas nach Maassgabe des geringeren Druckes, dem es ausgesetzt ist, sich ausdehnt, so muss man die vorhin berechnete Ausflussmenge in dem Verhältnisse, in welchem die Spannkraft des ausfliessenden Gases abnimmt, vergrössern, um das Volumen zu erhalten, welches das Gas nach seinem Ausflusse wirklich einnimmt.

Bestimmt man das Volumen eines Gases, welches in einer Secunde aus der Oeffnung in einer dünnen Wand ausfliesst, durch den Versuch, so findet man, dass dasselbe viel kleiner ist, als dasjenige, welches man auf die so eben angeführte Weise durch Rechnung erhält, und zwar ist die wirkliche Ausflussmenge erfahrungsmässig nur 0,65 der theoretischen. Die Ursache hiervon liegt darin, dass wir angenommen hatten, die Gasmoleküle passirten die Ausflussöffnung alle in einer dazu senkrechten Richtung, eine Annahme, die in der Wirklichkeit nicht zulässig ist, weil der Gasstrahl, wie bei den Flüssigkeiten, ausserhalb des Gefässes eine Contraction erleidet. Man gewahrt dieses leicht, wenn man die Luft, in welche das Gas einströmt, mit Rauch anfüllt; die ganze Form des Gasstroms zeichnet sich dann in dem Rauch deutlich ab. Die Contraction des Gasstrahls ist ein wenig stärker als die, welche ein Flüssigkeitsstrahl unter denselben Umständen erleidet, weil die wirkliche Ausflussmenge beim Gase 0,65, bei den Flüssigkeiten aber 0,62 der theoretischen ist.

Ansatzröhren ändern auch bei den Gasen die Ausflussmengen bedeutend ab, und zwar aus denselben Gründen, wie bei den Flüssigkeiten. Bei einem cylindrischen Ansatzrohre ist die wirkliche Ausflussmenge 0,93 der theoretischen; ist aber das Ansatzrohr leicht convergirend conisch, so wird die wirkliche Ausflussmenge 0,94 der aus der Grösse der Ausflussöffnung und der Druckhöhe berechneten theoretischen.

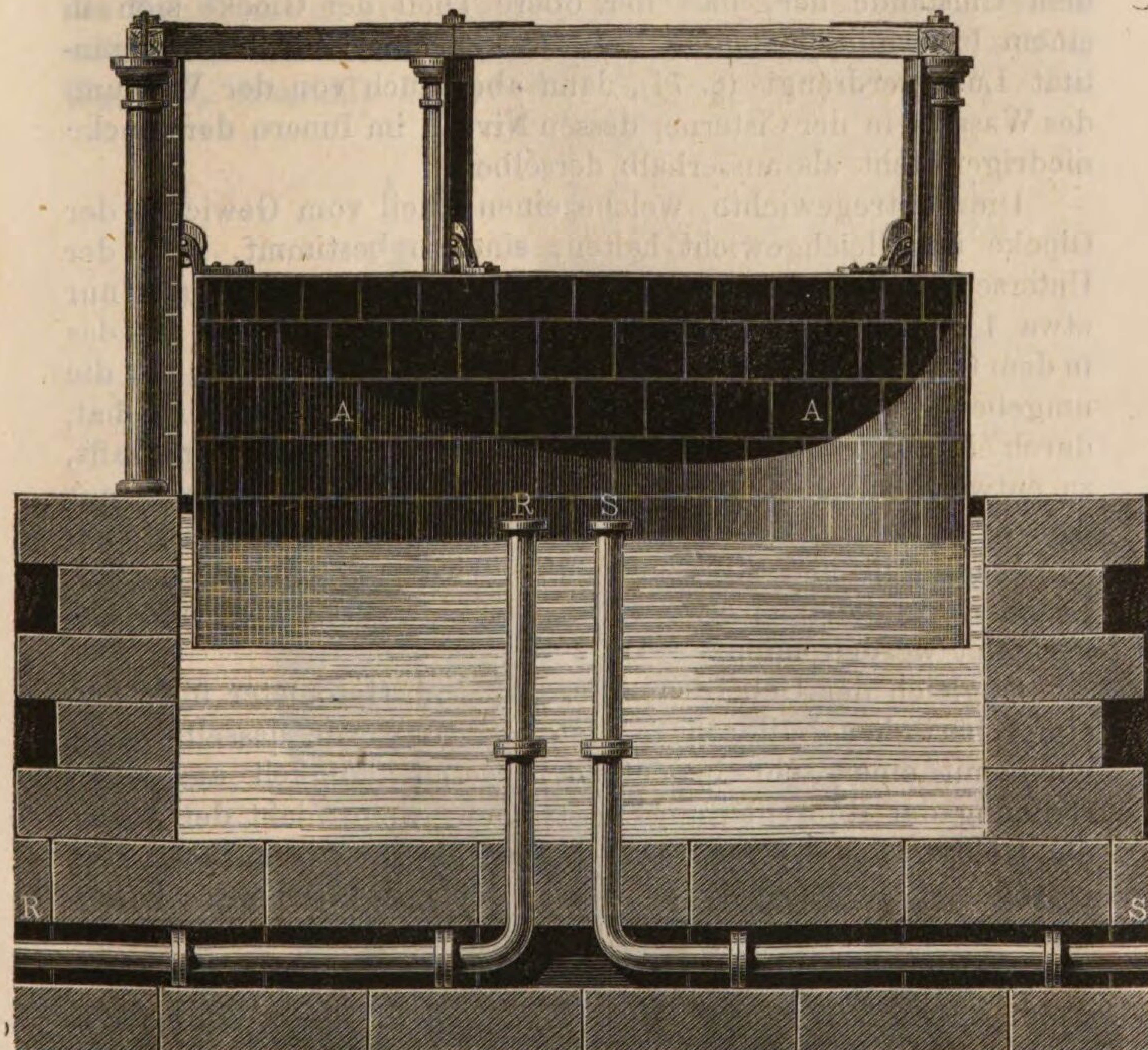
115 **Bewegung der Gase in Röhrenleitungen.** Bewegt sich ein Gas durch eine Röhrenleitung, so hat es an der Röhrenwandung in ähnlicher Art, wie es bei den Flüssigkeiten der Fall ist (§. 91), einen Reibungswiderstand zu überwinden, welcher der Grösse der von dem Gase berührten Wandfläche proportional, ausserdem aber von der Geschwindigkeit des Gases abhängig ist. Man kann jedoch im Gegensatze zu den Flüssigkeiten bei den Gasen den Reibungswiderstand als proportional zu dem Quadrat der Ausflussgeschwindigkeit annehmen. Die Erfahrung hat gelehrt, dass dieses Gesetz über die Abhängigkeit des Reibungswiderstandes von der Geschwindigkeit des ausströmenden Gases für alle Geschwindigkeiten, welche die Luft in den Leitungsröhren zu haben pflegt und die zwischen 10 und 150 Fuss liegen können, gültig ist.

Uebrigens kommen bei der Bewegung von Gasen in den Röhren noch andere Widerstände vor; Krümmungen, Verengungen, Erweiterungen u. s. w. setzen oft der Bewegung des

Gases einen grossen Widerstand entgegen, worüber genügende Versuche noch nicht angestellt sind. Zuweilen erzeugt man durch solche Verengungen in der Leitung eines Luftstromes einen beabsichtigten künstlichen Widerstand, z. B. durch Einschieben einer Stellklappe in ein Ofenrohr, oder durch Hähne, um den Wind eines Gebläses zu reguliren.

Gasometer. Ein Beispiel von der Art und Weise, wie 116
sich die Gase in Röhrenleitungen bewegen, giebt das Leuchtgas, welches in den Gasfabriken aus Steinkohlen oder aus ölhaltigen Materialien dargestellt wird. Bevor dasselbe in die Röhrenleitungen und aus diesen zu den Brennern gelangt, wird es in einem grossen Behälter, den man Gasometer nennt, angesammelt. Derselbe besteht im Wesentlichen aus einer grossen Glocke *AA* aus Eisenblech, Fig. 161, welche mittelst

Fig. 161.



Ketten in eine entsprechend grosse mit Wasser angefüllte Cisterne eingesenkt werden kann. Das Gas strömt aus der Fabrik, nachdem es in besonderen Behältern gereinigt worden ist, durch ein Zuleitungsrohr *RR*, welches aus der Sohle der Cisterne aufsteigt und unmittelbar über dem Wasserspiegel derselben endigt, in den Gasometer. Hier findet es ausser durch das Rohr *SS* keinen Ausweg nach aussen, da die Decke und die Seitenwand der Blechglocke einerseits und das Wasser der Cisterne andererseits es verhindern zu entweichen. Das Gewicht der eisernen Glocke ist zum grossen Theile durch die über Rollen gehenden eisernen Ketten und deren angehängte Contregewichte äquilibrirt; der übrige Theil vom Gewichte der Glocke, so wie das Gewicht des darin enthaltenen Gases wird von dem Auftriebe, den die Glocke in der Richtung von unten nach oben erleidet, im Gleichgewicht gehalten. Dieser Auftrieb rührt nämlich von dem Umstande her, dass der obere Theil der Glocke sich in einem lufterfüllten Raume befindet und eine bedeutende Quantität Luft verdrängt (§. 74), dann aber auch von der Wirkung des Wassers in der Cisterne, dessen Niveau im Innern der Glocke niedriger steht als ausserhalb derselben.

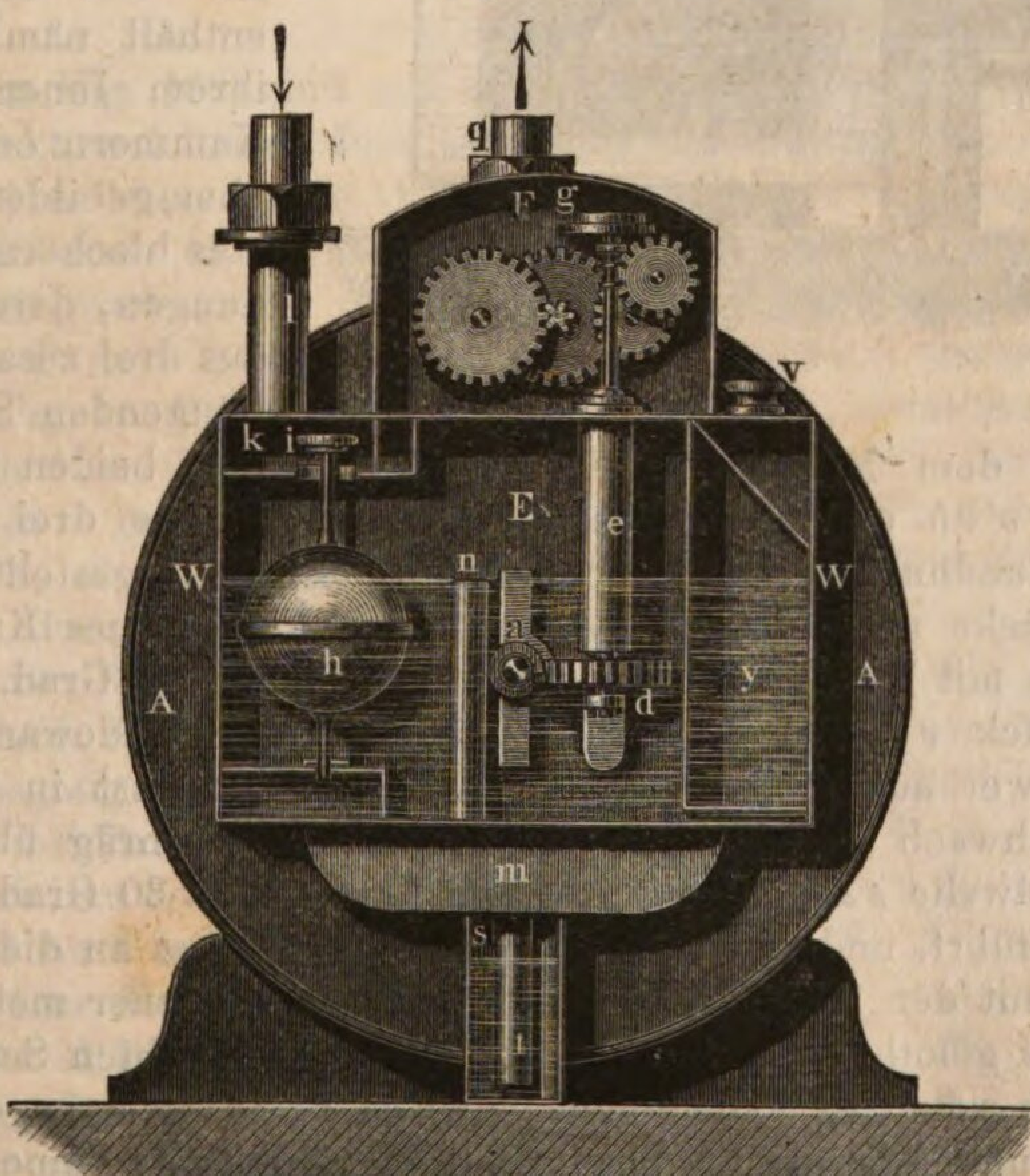
Die Contregewichte, welche einen Theil vom Gewichte der Glocke im Gleichgewicht halten, sind so bestimmt, dass der Unterschied der Niveaus in der Cisterne und ausserhalb nur etwa 1 Zoll beträgt. In Folge dieser Niveaudifferenz ist das in dem Gasometer befindliche Gas etwas stärker gepresst, als die umgebende atmosphärische Luft, weshalb es das Bestreben hat, durch ein zweites Rohr *SS*, welches ihm einen Ausweg verschafft, zu entweichen. Dieses letztere Rohr steht in Verbindung mit dem Systeme von Röhren, durch welche das Gas in die einzelnen Stadttheile und Strassen geführt wird, um endlich zu den Brennern zu kommen, wo es an die Luft ausströmen und angezündet werden kann.

Obgleich der Ueberdruck des Gases im Gasometer über der atmosphärischen Luft sehr gering ist, so würde dasselbe dennoch mit einer sehr bedeutenden Geschwindigkeit aus jeder Oeffnung der Röhrenleitung ausströmen, wenn nicht der durch die Röhrenwände erzeugte Reibungswiderstand die Bewegung verzögerte. In der That wird fast der ganze Ueberdruck des Gases dazu verwendet, die Reibung in den Röhren zu überwinden, und nur ein sehr kleiner Rest dient noch dazu, dem Gase diejenige Ausflussgeschwindigkeit zu geben, deren es bedarf, um aus den Brennern an die atmosphärische Luft zu gelangen.

Um auch diese Geschwindigkeit noch zu mässigen und in ein richtiges Verhältniss zu der erforderlichen Lichtstärke der Flamme zu bringen, erzeugt man durch Drehen eines an dem Brenner angebrachten Hahnes eine Verengung des Leitrohres und dadurch einen künstlichen Widerstand von der Grösse, wie er eben für den gewünschten Effect der Flamme erforderlich ist.

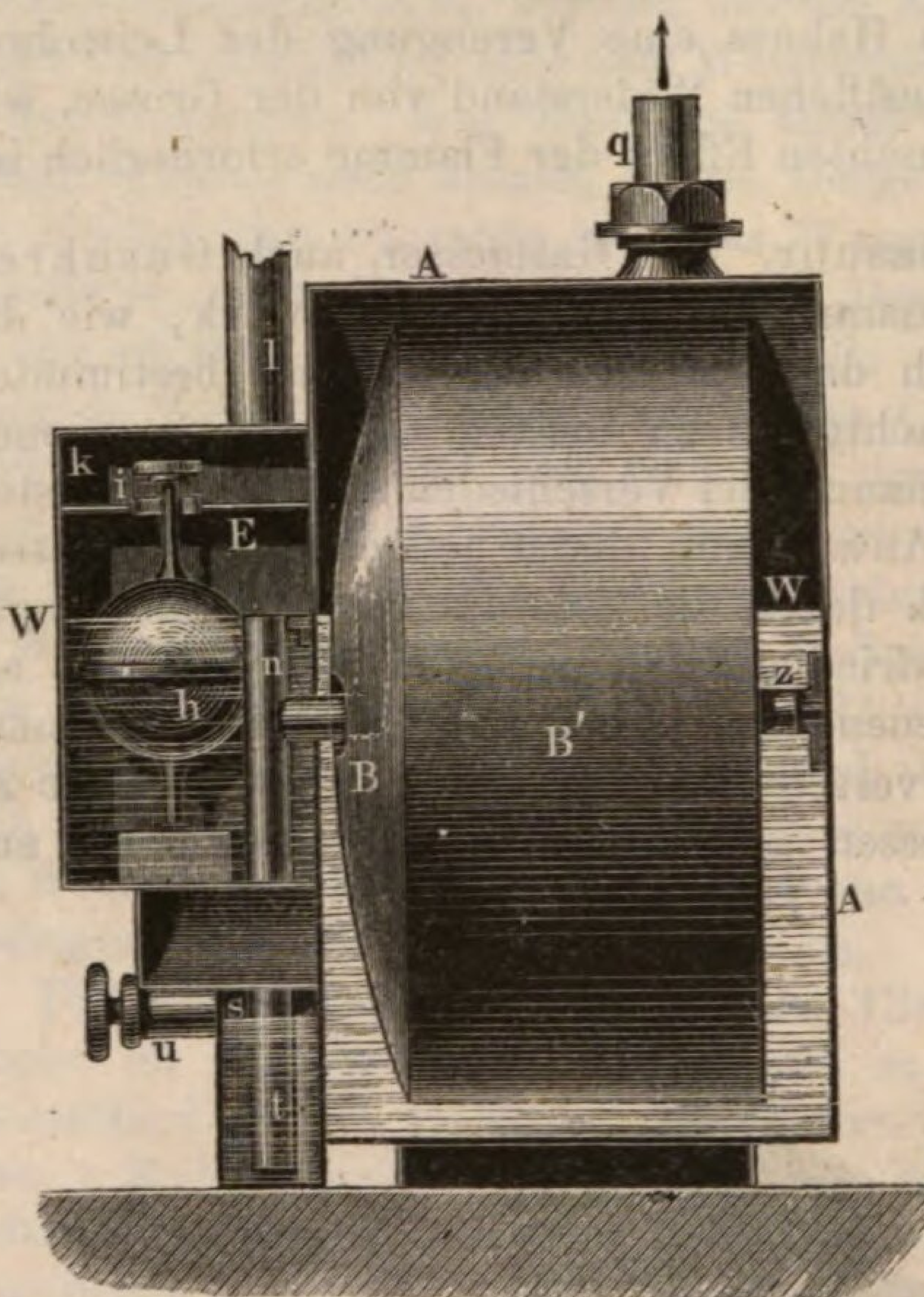
Gasmesser. — Gasuhr. Die Gasmesser, auch Gasuhren 117
oder Compteurs genannt, haben denselben Zweck, wie die Wassermesser, nämlich das Volumen des in einer bestimmten Zeit verbrauchten Leuchtgases zu messen. Die Constructionen der Gasuhren zeigen mancherlei Verschiedenheiten; am meisten und fast allgemeine Anwendung findet jedoch der Gasmesser von Edge, da er sich durch die Zuverlässigkeit seiner Angaben die allgemeine Zufriedenheit sowohl der Gasanstalten, als des Publikums zu erfreuen hat. Der Apparat besteht aus einem mit metallenem Fusse versehenen festen blechernen Gehäuse *A*, Fig. 162, innerhalb dessen sich als Haupttheil eine hohle, aus

Fig. 162.



Compositionsmetall - Blech zusammengesetzte Trommel $B\,B'$, Fig. 163, befindet, die sich um eine in Lagern drehbare Achse umdrehen kann.

Fig. 163.



Lässt man den äusseren cylindrischen Mantel B' und den vorderen erhabenen Deckel B der Trommel weg, so zeigt sich die innere Einrichtung und Zusammensetzung, wie sie aus den Fig. 164 und Fig. 165 zu erkennen ist. Die Trommel enthält nämlich in ihrem Innern vier Kammern oder Fächer, gebildet durch vier blecherne Wandungen, deren jede aus drei zusammenhängenden Stücken besteht, dem Mittelstück $v\,v'$, $w\,w'$ und den beiden Seitenstücken $v'v\,b$ und $w'w\,c$; in Fig. 165 sind diese drei Stücke einer Wandung in einer Ebene ausgebreitet dargestellt. Die Seitenstücke $v'v\,b$ und $w'w\,c$ haben die Form eines Kreisausschnittes mit Mittelpunktswinkeln von beiläufig 132 Grad. Jedes Mittelstück $v\,v'\,w\,w'$ bildet die eigentliche Scheidewand zwischen zwei aufeinanderfolgende Kammern und ist in Gestalt einer schwach gekrümmten Schraubenfläche schräg über die Trommelwelle $z\,z$ unter einem Winkel von etwa 30 Grad gegen diese geführt, und mit seinen unteren Ecken v, w an die Seiten zweier mit der Welle $z\,z$ rechtwinkelig verbundener metallener Vierecke gelöthet, von denen eines auf der rechten Seite der Figur zu sehen ist. Die Seitenstücke $v\,v'\,b$, $w\,w'c$ dagegen sind um $v\,v'$ und $w\,w'$ als Kanten im entgegengesetzten Sinne gegen das Mittelstück bis in die Endflächen der Trommel gebogen,

um hier die fächerartig über einander greifenden Bodenwände der letzteren auszumachen, und eben hierdurch schmale, von

Fig. 164.

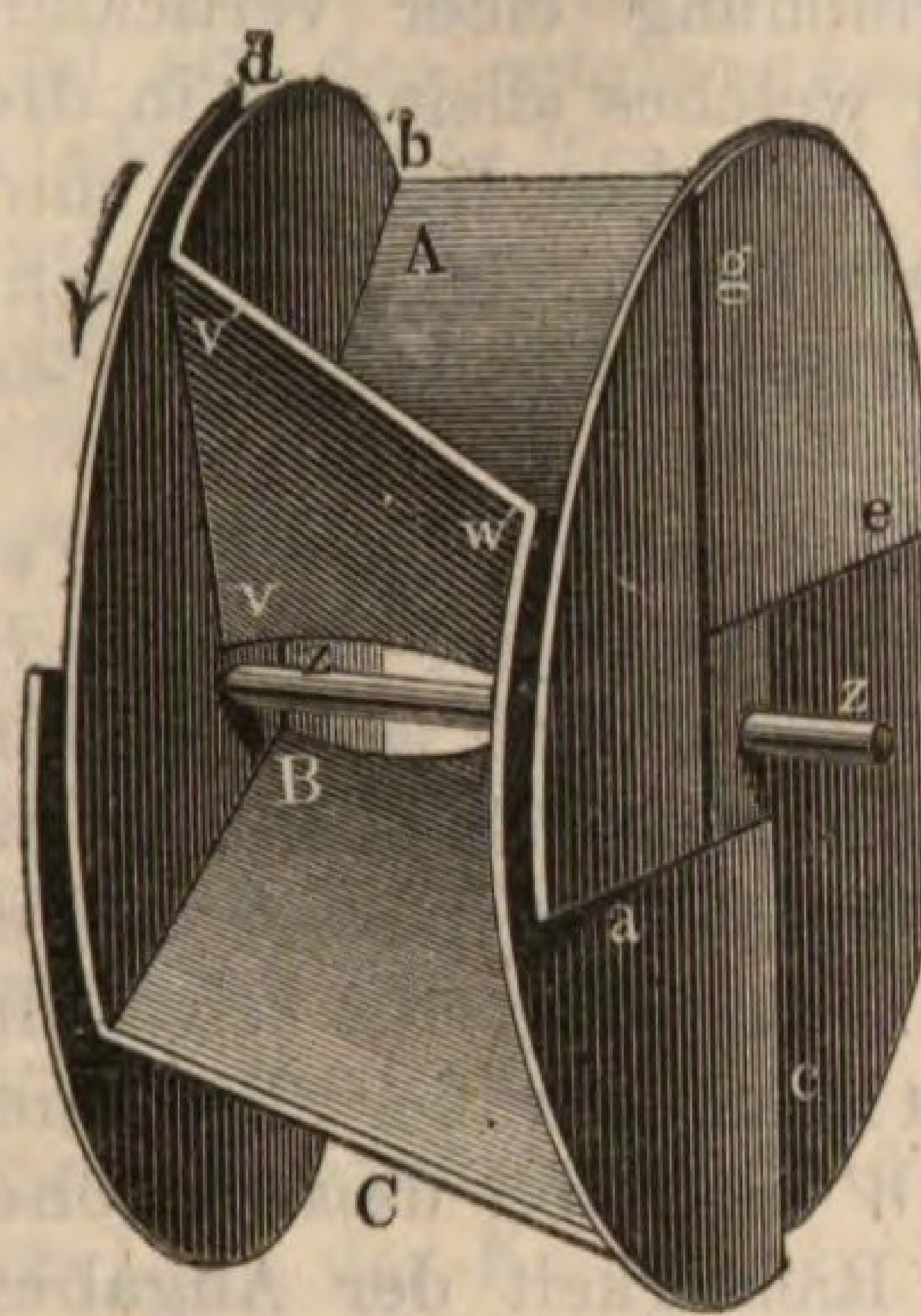
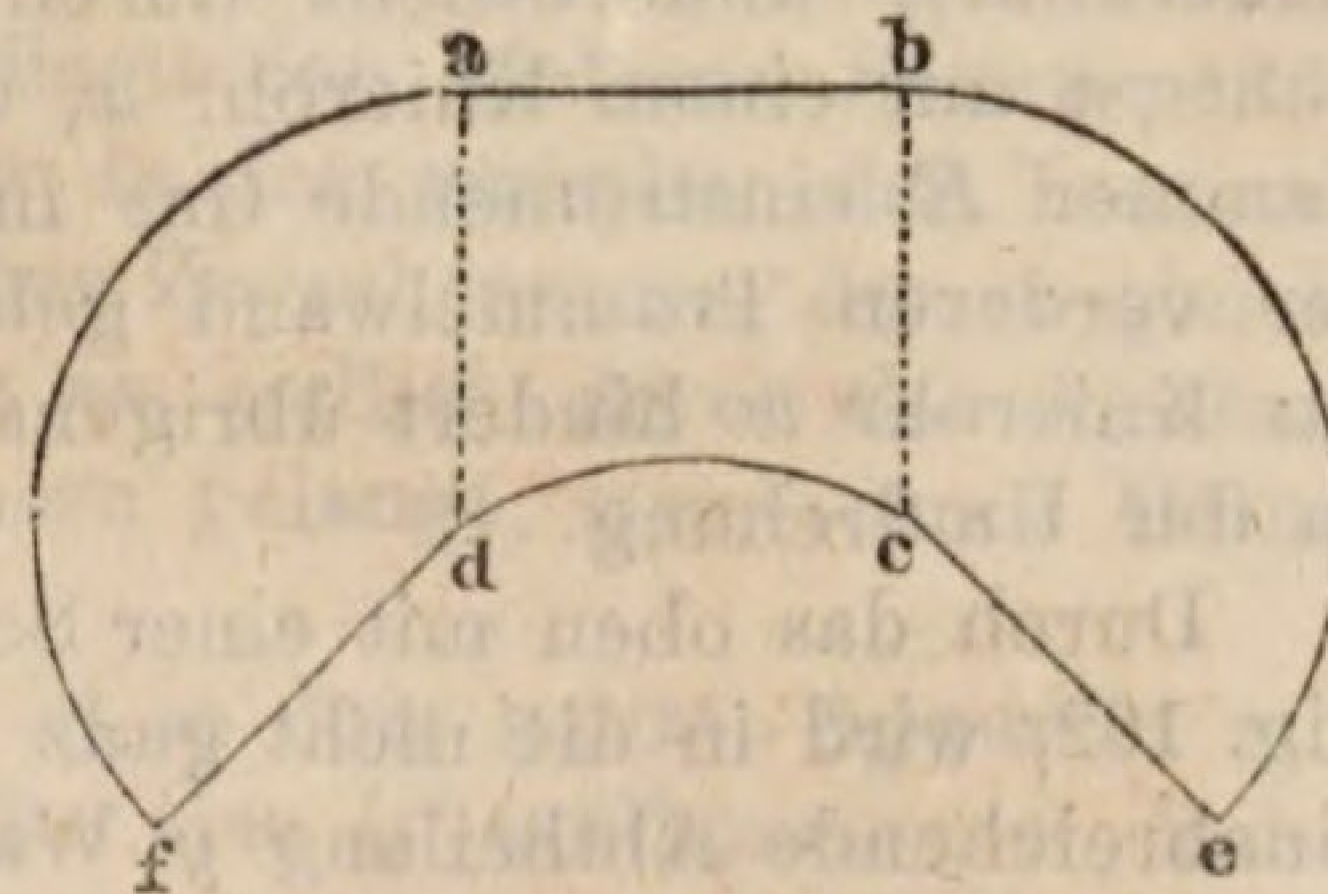


Fig. 165.



der Achse zz nach dem Mantel der Trommel sich erweiternde Zwischenräume als Eintritts- und Austrittsöffnungen für das Gas zu bilden. Die Wandungen der vorderen Fläche (links in Fig. 163) sind mit einem einzigen gewölbten Blech B überdeckt, welches an dem Rande des Mantels verlöthet ist, in der Mitte aber eine runde Oeffnung hat. Dieser Oeffnung gegenüber ist auch in der Wand des Gehäuses E eine runde Oeffnung eingeschnitten, durch welche der Raum zwischen dem Deckel B der Trommel und der Trommelwand mittelst eines hindurchgehenden Rohres x mit dem sonst hermetisch angelötheten viereckigen Kasten E communicirt. Wie der vordere Theil der Trommel durch einen erhabenen Blechdeckel B, Fig. 163, so ist auch der ganze obere Theil derselben rund herum durch einen Blechring B' überlöthet, wonach das Innere der Trommel vorn und rund herum ganz abgeschlossen ist, jedoch für den Eintritt des Gases vorn die Oeffnung x, für den Ausgang desselben aber auf der entgegengesetzten Seite die vier fächerförmigen Spalten hat. Es ist hiernach aus der Fig. 164 leicht zu sehen, wenn man sich rechts den vorderen Deckel B, und rund herum den cylindrischen Blechring B' noch hinzu denkt, dass die Trommel vier Kammern hat, so wie, dass die Kammer A ihre Eintrittsöffnung an der Spalte a, die Austrittsöffnung aber jenseits bei b hat; ebenso liegt die Eintrittsöffnung der Kammer B bei c, die Austrittsöffnung dagegen bei d u. s. w.

Mit dem Trommelgehäuse AA steht der prismatische kastenförmige Vorbau E, Fig. 162 und Fig. 163, nicht weiter in Verbindung, als dass einestheils die Trommelwelle z durch eine Oeffnung in die Scheidewand hindurchtritt (in Fig. 162 bei a bemerkbar), anderntheils durch Verbindung einer verticalen Röhre n mit einem Knierohr x, durch welches allein das in die Kammer E einströmende Gas in den von dem Deckel B und der vorderen Trommelwand gebildeten Raum eintreten kann; das Knierohr x hindert übrigens die Trommel in keiner Weise an der Umdrehung.

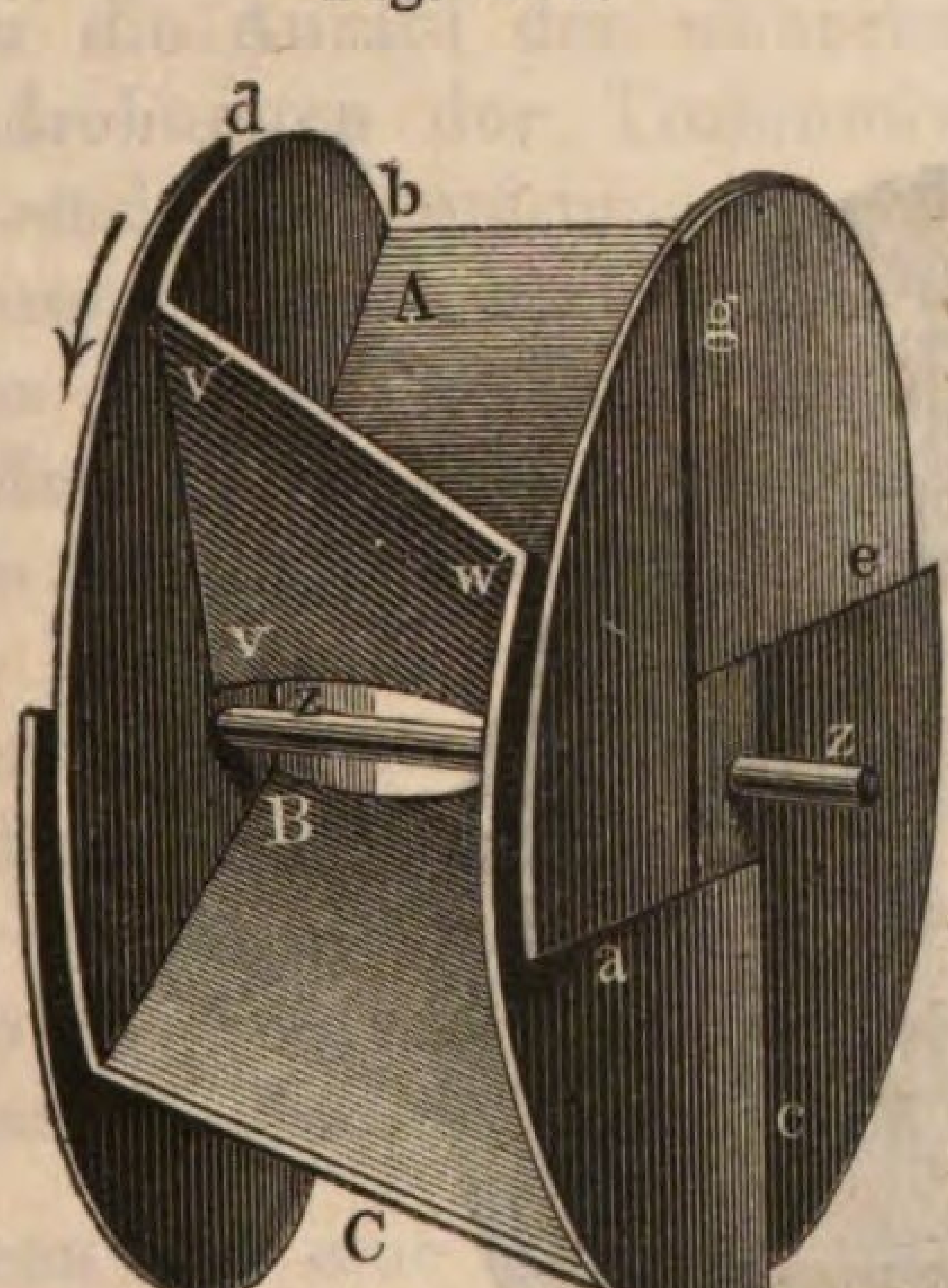
Durch das oben mit einer Schraube verschliessbare Rohr v, Fig. 162, wird in die nicht ganz auf den Boden der Kammer E hinabreichende Abtheilung y Wasser eingebracht, wobei das in E etwa befindliche Gas offenbar nicht entweichen kann, da es durch das in der Kammer bereits enthaltene Wasser abgesperrt ist. Das Wasser nimmt sodann, wie Fig. 162 zeigt, in der Kammer E, in dem Gehäuse AA und in der Trommel überall einen gleich hohen Stand WW ein, von dessen Höhe, wie wir sogleich sehen werden, die Richtigkeit der Angaben der Gasuhr abhängig ist. Auf der entgegengesetzten Seite strömt durch die mit dem Strassenrohre in Verbindung stehende Röhre l das Gas in die Ventilkammer k und bei geöffnetem Ventile durch die Oeffnung i in die Kammer E. Von hier aus findet es keinen anderen Ausweg, als durch die Röhre n (Fig. 163) und das Knierohr x in die Trommel, da alle anderen Räume mit Wasser angefüllt sind. Beim Einfüllen des Wassers durch die Abtheilung vy steigt der Wasserspiegel zunächst bis zum oberen Rande der Blechröhre n, dessen Höhe zugleich das Niveau des Normalwasserspiegels WW angiebt. Wird noch mehr Wasser hineingegossen, so fällt es durch das Rohr n und weiter durch das Rohr t in das tiefer liegende kleinere Gefäss s, woraus es durch eine ins Freie führende, gewöhnlich verschlossene Mündung abgelassen werden kann. Da das Gefäss s stets bis an die Ausflussöffnung u mit Wasser gefüllt bleiben, und somit das Rohr t unter Wasser tauchen wird, so liegt hierin ein sicheres Mittel, dass weder durch Nachlässigkeit, noch durch Betrug aus der unteren Oeffnung u Gas entnommen werde. Giesst man, während u geschlossen bleibt, zu viel Wasser durch das Füllrohr v in den Apparat, so füllt es, nachdem die Wasserlinie WW erreicht ist, die Röhre t und n ganz aus, so dass dann dem Gase der Zugang zu dem Knierohr x und der Trommel abgeschnitten ist. In einem solchen Falle liefert die Uhr

kein Gas, bis durch Oeffnen der Mündung *u* das überschüssige Wasser abgelassen und der Normalwasserstand *WW* erreicht ist.

Das durch *x* unter den vorderen Deckel *B* der Trommel gelangende Gas streicht durch die vorderen Seitenspalten in die Trommelkammern, so weit diese aus dem Wasser liegen, hinein, und aus den entgegengesetzt liegenden hinteren Seitenspalten wieder aus der Trommel heraus in den zwischen der Trommel und dem Gehäuse *AA* befindlichen Zwischenraum, den es gleichfalls ausfüllt, und von wo aus es endlich durch das Ausflussrohr *q*, Fig. 162, zu den Brennern gelangt, wenn deren Hähne geöffnet werden.

Bevor die Flamme brennt, ist in dem ganzen Apparate von der Röhre *l* bis zur Röhre *q* das Gas in vollkommener Ruhe. Durch den Verbrauch der Flamme dagegen werden die derselben zunächst liegenden Gastheile veranlasst nachzuströmen, so dass auch das Gas in der Uhr in Bewegung geräth und durch die Druckwirkung auf die schrägen Flächen der Kammern, aus denen es ausströmt, die Trommel zur Umdrehung bringt. Aus der Lage der Kammern, Fig. 166, ist leicht zu ersehen, dass schon bevor die eine Kammer *A* sich ganz mit Gas gefüllt hat, die nächst folgende (*D*) sich zu füllen beginnt, so wie auch nach dem Anfang der Ausleerung der einen Kammer *A* die vorhergehende (*B*) noch eine Zeitlang sich auszuleeren fortfährt, bevor sie mit ihrer Austrittsöffnung ganz unter Wasser gelangt ist. Zugleich ist klar, dass während einer Umdrehung der Trommel jede der vier Kammern eben so weit, als dieses in einer bestimmten Stellung für die über Wasser befindlichen der Fall ist, mit Gas angefüllt und entleert wird, dass also die ermittelte Grösse des eben gedachten Raumes viermal genommen, den Kubikinhalt des Gases giebt, welches bei einer einmaligen Umdrehung der Trommel den Brennern zugeführt wird.

Fig. 166.

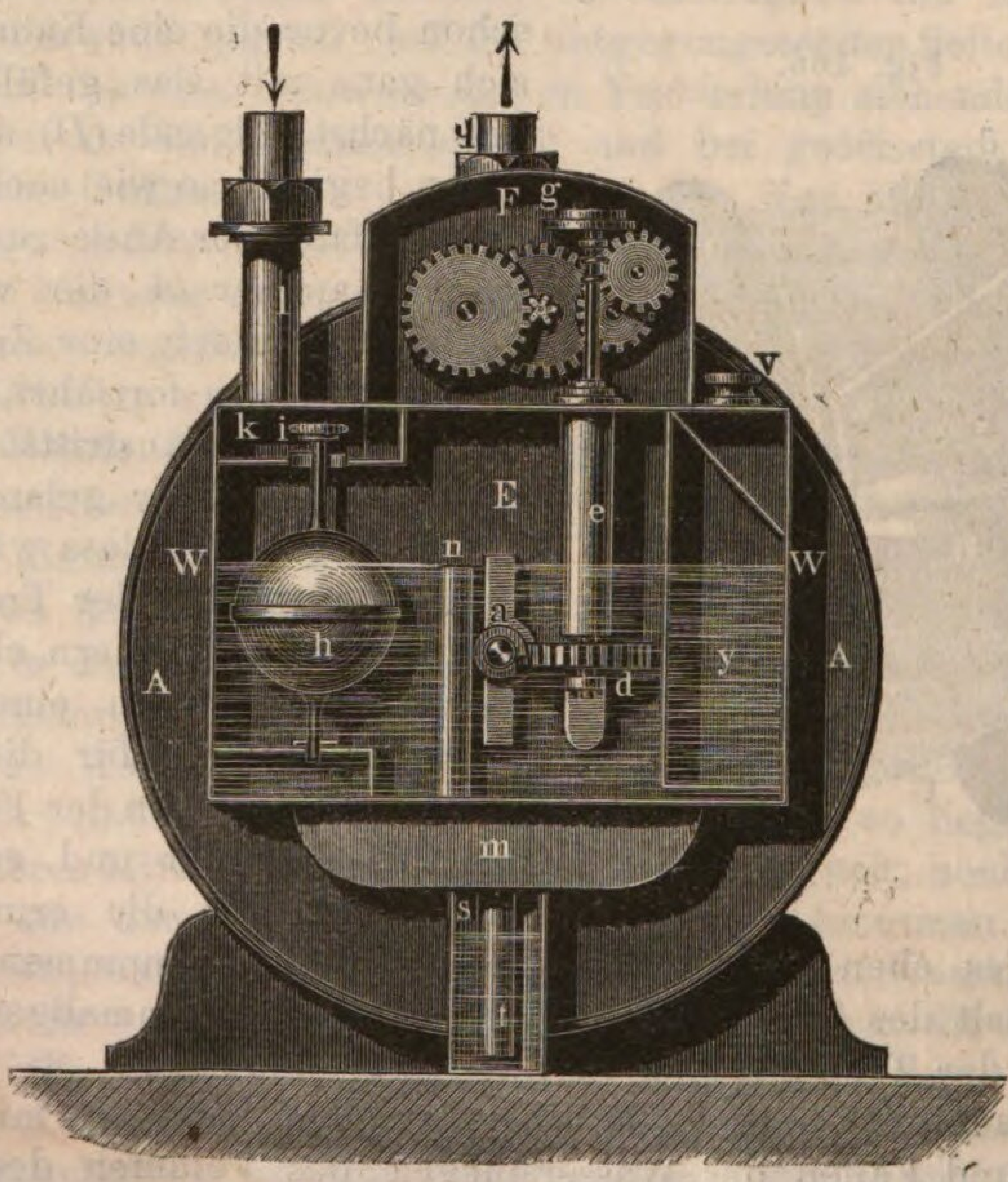


Hieraus geht hervor, dass bei derselben Trommel mit dem Steigen und Fallen des Wasserspiegels das Volumen des Gas-

raumes kleiner und grösser wird, weshalb es sowohl im Interesse des Gasproducenten, als der Consumenten erforderlich ist, dass der Normalwasserspiegel *WW*, wie er von dem Verfertiger der Gasuhr für ein ganz bestimmtes, einer Trommelumdrehung entsprechendes Volumen festgestellt worden ist, während des Gebrauches der Uhr unverändert derselbe bleibe.

In welcher Weise die Röhre *n* und *t* hierzu beitragen, haben wir bereits gesehen; sie bewirken im Interesse der Consumenten, dass der Wasserspiegel nicht zu hoch reiche, und dass das einer Trommelumdrehung entsprechende Gasvolumen nicht zu klein ausfalle. Um auch den Producenten gegen eine Benachtheiligung zu schützen, die aus einem zu niedrigen Stande des Wassers und einem eben hierdurch gebildeten zu grossen Gasvolumen oberhalb der Wasserlinie in der Trommel hervorgehen würde, ist die Einrichtung getroffen, dass das Gas von der Zuleitungsröhre *l*, Fig. 167, und aus der Ventilkammer *k* nicht eher in die Trommel gelangen kann, bis das Ventil *i* ge-

Fig. 167.



öffnet ist. Zu diesem Zwecke ist in der Kammer *E* eine hohle Kugel *h* angebracht, deren oberer Theil auf einem Stiele ein kleines Kegelventil *i* trägt. Das Gewicht der Kugel ist so abgeglichen, dass sie auf dem Wasser schwimmt und bis zu einer bestimmten Tiefe darin einsinkt; ausserdem ist der Ventilstiel so lang, dass das Ventil *i* geöffnet ist und dem Gase eine hinlängliche Oeffnung zum Einströmen in die Kammer *E* darbietet, so lange der Wasserstand *WW* die normale Höhe hat. Wenn also kein Wasser in der Kammer *E* sich befindet, so ist das Ventil *i* geschlossen und es kommt kein Gas in die Uhr und zu den Brennern. Aber auch, wenn nach geschehener Einfüllung des Wassers durch längeren Gebrauch der Uhr ein Theil desselben etwa durch Verdunstung entweichen und dadurch der Wasserspiegel sinken sollte, sinkt zugleich die Schwimmkugel *h* und schliesst das Ventil *i*, so dass dann ebenfalls kein Gas hindurchströmen kann und die Lichter verlöschen, eine Anzeige, dass neues Wasser eingefüllt und der richtige Wasserstand wieder hergestellt werden muss.

Da man weiss, wie gross für jede Umdrehung der Trommel das Volumen des durch die Trommel gegangenen Gases ist, so bedarf es nur noch eines besonderen Zählapparates, an welchem man die Anzahl der während einer bestimmten Zeit erfolgten Umdrehungen der Trommelwelle, ablesen kann. Der hierzu dienende Mechanismus ist ganz ähnlich, wie bei dem Wassermesser (§. 112), und aus der Fig. 167 leicht zu verstehen. Die unter Wasser liegende Welle *zz* der Trommel geht durch eine Oeffnung, die in der Scheidewand zwischen dem Kasten *E* und dem Gehäuse *AA* angebracht ist hindurch und ist innerhalb des Kastens *E* mit einer endlosen Schraube *a* versehen. Die Schraube greift in ein Zahnrad *d* ein, welches 40 Zähne hat, und um einen Zahn vorwärts geht, wenn bei jedem Umgange der Trommel $^1/_8$ Kubikfuss Gas hindurchgeht. Es dreht sich also das Schraubenrad *d* und mit ihm seine Achse einmal rund, wenn die Schraube und die Trommel sich 40 mal rund gedreht haben und eine Quantität Gas von $\frac{40}{8} = 5$ Kubikfuss durch die Uhr gegangen ist. Die Achse des Rades *d* geht durch eine das Gas vom obern Zählerwerk *F* absperrende Büchse *e* frei hindurch. Um daher die einzelnen Kubikfuss ablesen zu können, ist der Umfang der oberen auf der zuletzt genannten Verticalachse liegenden Scheibe *g* in 5 gleiche Theile getheilt. Unmittelbar unter *g* sitzt auf derselben Verticalachse eine zweite endlose Schraube,

die wieder in ein Zahnrad von 20 Zähnen eingreift, so dass ein Umgang dieses Rades $20 \times 5 = 100$ Kubikfuss durch die Trommel geflossenes Gas anzeigt. Auf der Achse des letzteren Rades sitzt ferner ein Getriebe von 6 Zähnen, welches in ein Zahnrad von 60 Zähnen eingreift, so dass ein Umgang dieses letzteren Rades $100 \cdot \frac{60}{6} = 1000$ Kubikfuss verbrauchtes Gas zählt u. s. w.

Je nach der Anzahl der Flammen, deren Gasverbrauch durch die Gasuhr gemessen werden soll, wird das Volumen der Trommel oberhalb des normalen Wasserspiegels grösser oder kleiner genommen und hiernach auch der Zählapparat zweckentsprechend abgeändert.

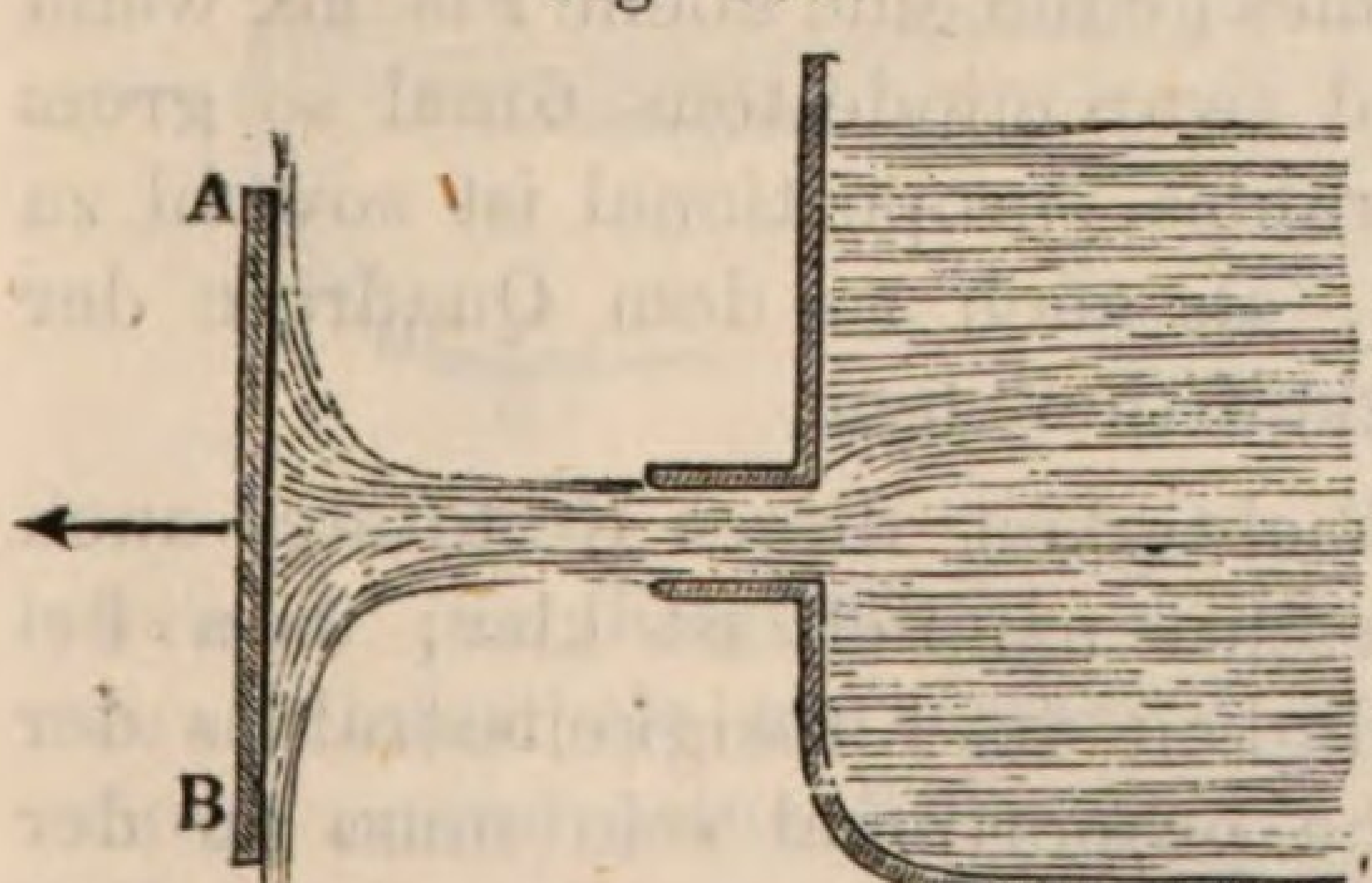
118 **Messen der Geschwindigkeit eines Luftstromes.** Wir haben bereits in §. 54 die Hauptursachen angedeutet, welche die atmosphärische Luft in Bewegung setzen und dadurch die Winde erzeugen. Wir haben ferner gesehen (§. 55 und 56), wie der Unterschied in der Temperatur zweier Luftsäulen im Inneren der Bergwerke und der Kamine die Bewegung dieser Luftsäulen zur Folge hat; häufig auch wird, wie wir später sehen werden, die Luft zu bestimmten Zwecken durch besondere Maschinen künstlich in Bewegung gesetzt. In allen solchen Fällen handelt es sich oft darum, die Geschwindigkeit eines Luftstromes zu messen. Am meisten eignet sich hierzu das Anemometer von Combes, eine Vorrichtung, die dem in Fig. 150 abgebildeten Hydrometer von Woltmann sehr ähnlich, übrigens sehr leicht gebaut und dem Zwecke gemäss, für welchen es bestimmt, passend abgeändert ist. Das Instrument wird durch die Strömung der Luft, deren Geschwindigkeit damit gemessen werden soll, ganz nach Art der Windmühlen in Bewegung gesetzt.

Die folgende Tabelle giebt die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Lufttheilchen bei den verschiedenen Arten von Winden bewegen.

Benennung des Windes.	Geschwindigkeit der Luft in der Secunde.
Ein eben noch wahrnehmbarer Wind . . .	3 Fuss
Schwacher Wind	6 „
Frischer Wind oder Brise (spannt die Segel straff)	18 „
Der günstigste Wind für die Windmühlen .	22 „
Eine kräftige Brise, sehr günstig bei der Meeresfahrt	22 „
Eine starke Brise (die oberen Segel werden eingezogen)	36 „
Sehr starker Wind	45 „
Sturmwind	60 „
Grosser Sturm	80 „
Orkan	110 „
Orkan, der Gebäude umwerfen kann . . .	140 „

Druck eines Flüssigkeitsstrahles gegen eine Fläche. 119
Wenn ein Flüssigkeitsstrahl gegen eine Fläche AB, Fig. 168, stösst, so breitet er sich an dieser Fläche aus und übt zugleich einen Druck auf dieselbe aus. Nehmen wir zunächst an, dass die gestossene Fläche eine zur Richtung des Flüssigkeitsstrahles senkrechte Ebene sei. Die Dimensionen dieser Fläche haben nothwendig einen Einfluss auf die Grösse des Druckes, den sie von dem Flüssigkeitsstrahle erleidet. Denn es ist zunächst klar, dass dieser Druck von der Reaction der einzelnen Flüssigkeitsfäden herrührt, die genöthigt werden, ihre Richtung zu ändern; er ist daher um so grösser, je mehr diese Flüssigkeitsfäden ihre Bewegungsrichtung abändern. Wenn nun die den Stoss

Fig. 168.



empfangende Fläche nicht breiter ist, als der Flüssigkeitsstrahl selbst, so werden die Flüssigkeitsfäden sich zwar umbiegen und um die Fläche herum weiter fortgehen, aber ihre Richtung wird doch nicht so stark abgeändert werden, als wenn die gestossene Fläche grösser ist. In dem Maasse, als die Fläche grösser wird, werden die Flüssigkeitsfäden, welche von der Fläche abgleiten, mehr und mehr mit der Fläche selbst parallel; wenn dieser Parallelismus vollständig eingetreten und damit zugleich das Maximum der Richtungsänderung eingetreten ist, übt der Flüssigkeitsstrahl den grössten Druck gegen die Fläche aus, den er überhaupt gegen dieselbe ausüben kann. Der Versuch lehrt, dass dieses eintritt, wenn der Inhalt der Fläche 6- bis 8mal so gross ist, als der Querschnitt des Flüssigkeitsstrahles.

Sowohl durch Rechnung als durch directe Messung des Druckes mittelst einer Feder, die sich gegen die Rückseite der Fläche anlehnt, hat man gefunden, dass der Normaldruck des Wassers gegen eine ebene Fläche gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule, welche zur Basis den Querschnitt des Strahles und zur Höhe die doppelte Druckhöhe hat, welche der Geschwindigkeit der Moleküle des Flüssigkeitsstrahles entspricht. Bezeichnet man diese Geschwindigkeit mit v und die entsprechende Fallhöhe mit h, so ist bekanntlich nach I. §. 106.

$$h = \frac{v^2}{2g};$$

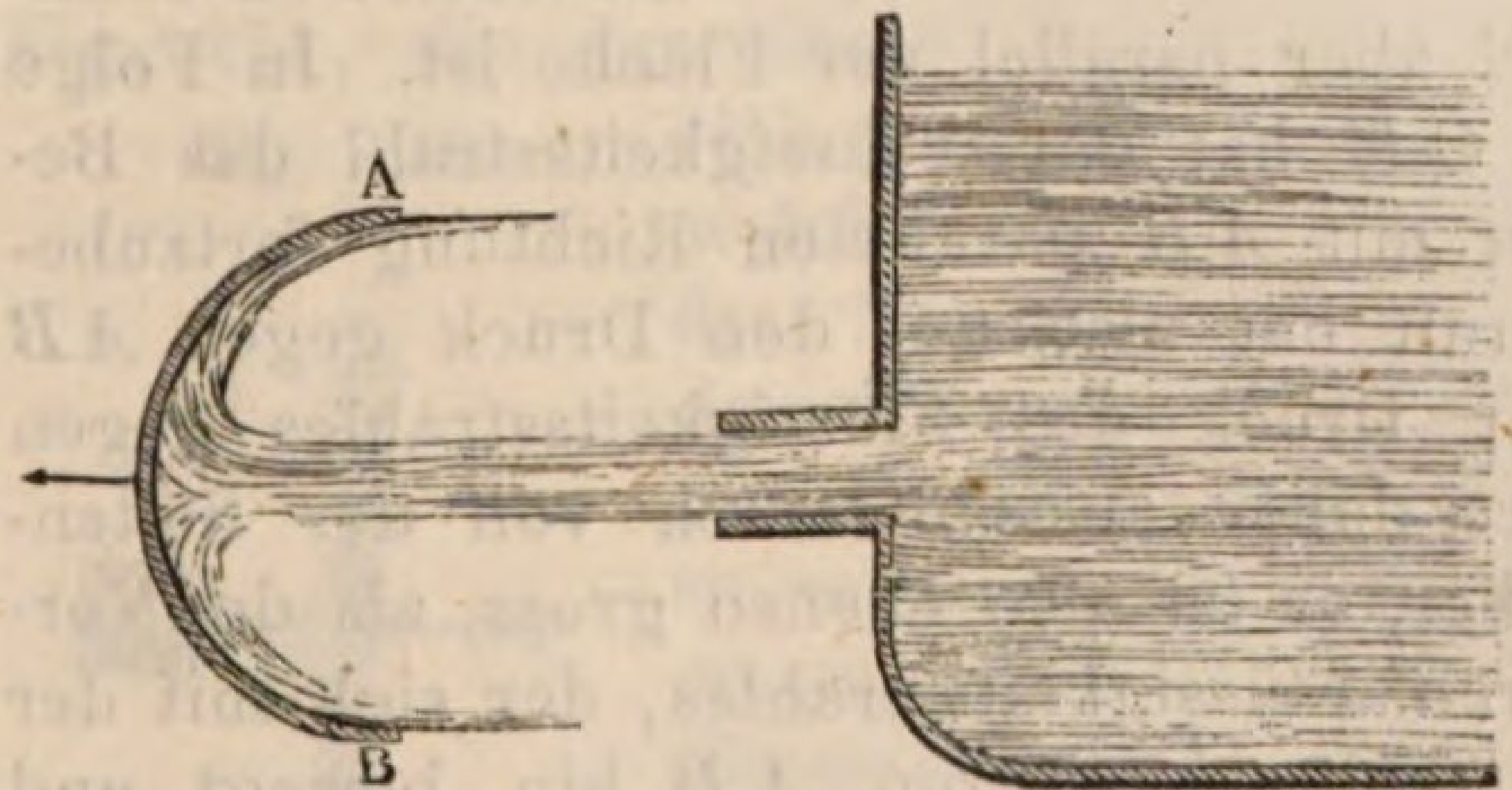
die Geschwindigkeitshöhe ist also dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional. Man kann daher auch sagen, dass der Normaldruck eines Flüssigkeitsstrahles gegen eine ebene Fläche, wenn dieselbe hinlänglich gross und zwar mindestens 6mal so gross ist, als der Querschnitt des Strahles, proportional ist sowohl zu dem Querschnitt des Strahles, als auch zu dem Quadrate der Geschwindigkeit seiner Flüssigkeitstheilchen.

Man kann sich von der Richtigkeit dieses Resultates auch sonst leicht überzeugen. Zunächst nämlich ist klar, dass bei einer und derselben Geschwindigkeit des Flüssigkeitsstrahles der Druck gegen die ebene Fläche proportional sein muss zu der Anzahl der Flüssigkeitstheilchen, welche in einer bestimmten Zeit gegen die Fläche stossen, das heisst also, proportional ist zu dem Querschnitte des Strahles. Wenn aber zwei Flüssigkeitsstrahlen von gleichem Querschnitt verschiedene Geschwindigkeiten haben, die Geschwindigkeit des einen Strahles z. B. doppelt so gross ist, als die des anderen, so wird der von dem

ersteren Strahle ausgeübte Druck viermal so gross sein, als der Druck des letzteren Strahles; denn einestheils hat schon jedes Molekül von doppelter Geschwindigkeit für sich eine doppelt so grosse Wirkung, anderntheils aber bewirkt die doppelte Geschwindigkeit des ersteren Strahles, dass in derselben Zeit doppelt so viele Moleküle gegen die Fläche stossen und daselbst zur Wirkung kommen. Der gesammte Erfolg ist also der, dass der Strahl von der doppelten Geschwindigkeit bei gleichem Querschnitt einen vierfachen Druck gegen die Fläche ausübt.

Wenn die Fläche, welche von einem Flüssigkeitsstrahle 120
einen Stoss erhält, nicht eben ist, so hängt die Grösse des Druckes, den sie erleidet, auch noch von der Gestalt der Fläche ab. Je nachdem diese Gestalt die Richtung der einzelnen Flüssigkeitsfäden mehr oder weniger abändert, ist auch der Druck des Strahles gegen die Fläche grösser oder kleiner. Ist die getroffene Fläche convex, so werden die Flüssigkeitsfäden von ihrer ursprünglichen Richtung weniger abgelenkt, als wenn die Fläche eben ist; der Druck gegen eine solche Fläche ist dann offenbar kleiner, als gegen eine ebene Fläche. Wenn dagegen, wie in Fig. 169, die getroffene Oberfläche concav ist, so ist der Stoss des Wassers gegen dieselbe weit grösser, als bei der ebenen Fläche.

Fig. 169.

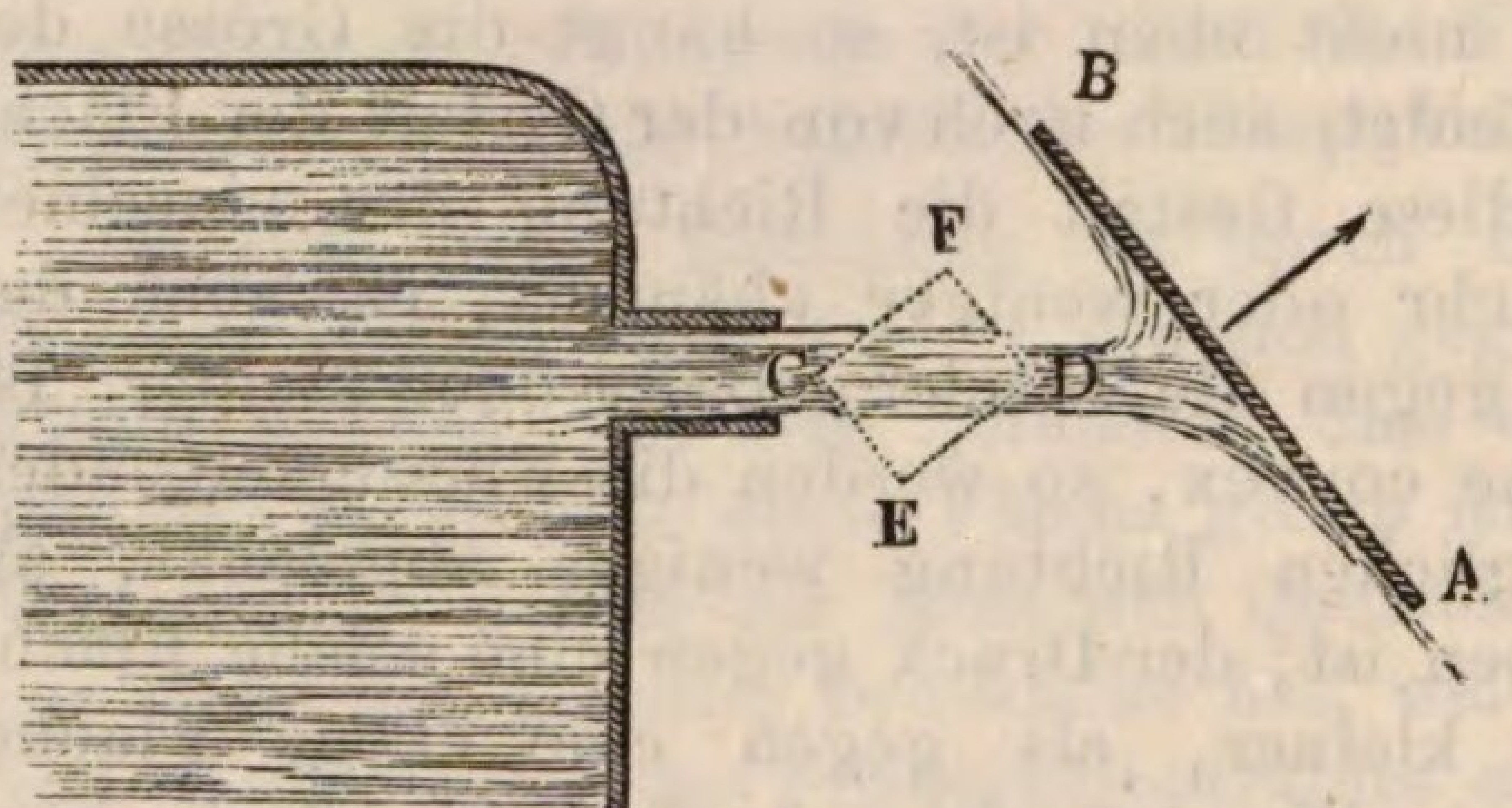


Stösst z. B. der Flüssigkeitsstrahl gegen die Mitte einer hohlen Halbkugel *AB*, so verlassen die Flüssigkeitsfäden rings herum die Kugelfläche in der entgegengesetzten Richtung, in welcher sie auf dieselbe treffen. Ein jeder dieser Fäden muss zuerst seine Richtung in derselben Weise abändern, als wenn er auf eine ebene Fläche gestossen wäre; hieraus folgt schon eine Umbiegung um 90°. Aber bei dieser ersten Richtungsänderung bleibt es nicht stehen, vielmehr ändert sich die Richtung des Fadens fortwährend so lange, bis sie parallel zu der Achse des einfallenden Strahles geworden ist und dieser eine ganz entgegengesetzte Bewegung angenommen hat.

Während dieser zweiten Periode wirkt aber der Strahl auf die Fläche ebenso stark, als in der ersten, so dass der Gesammtdruck, den diese hohle Halbkugel zu erleiden hat, doppelt so gross ist, als der Normaldruck, den derselbe Strahl gegen eine ebene Fläche ausüben würde. Der Versuch bestätigt dieses Ergebniss der theoretischen Untersuchung vollständig.

121 Wenn ein Flüssigkeitsstrahl gegen eine ebene Fläche AB, Fig. 170, in einer schiefen Richtung CD stösst, so ist der gegen die Fläche ausgeübte Druck nicht mehr derselbe, als wenn der Stoss in senkrechter Richtung gegen die Fläche erfolgt. Die Geschwindigkeit CD lässt sich nämlich in zwei Seitengeschwindigkeiten CF und CE zerlegen, von denen die erstere CF senkrecht, die andere CE aber parallel zur Fläche ist. In Folge der Geschwindigkeit CE hat der Flüssigkeitsstrahl das Bestreben, sich in einer mit AB parallelen Richtung fortzubewegen; diese Seitenkraft hat also auf den Druck gegen AB keinen Einfluss. Der Druck des Flüssigkeitsstrahles gegen die Fläche AB rührt daher ausschliesslich von der Seitengeschwindigkeit CF her, er ist also ebenso gross, als der Normaldruck eines anderen Flüssigkeitsstrahles, der sich mit der Geschwindigkeit CF senkrecht gegen AB hin bewegt und dessen Querschnitt gleich dem in paralleler Richtung zu AB genommenen Querschnitt des wirklichen Strahles ist.

Fig. 170.

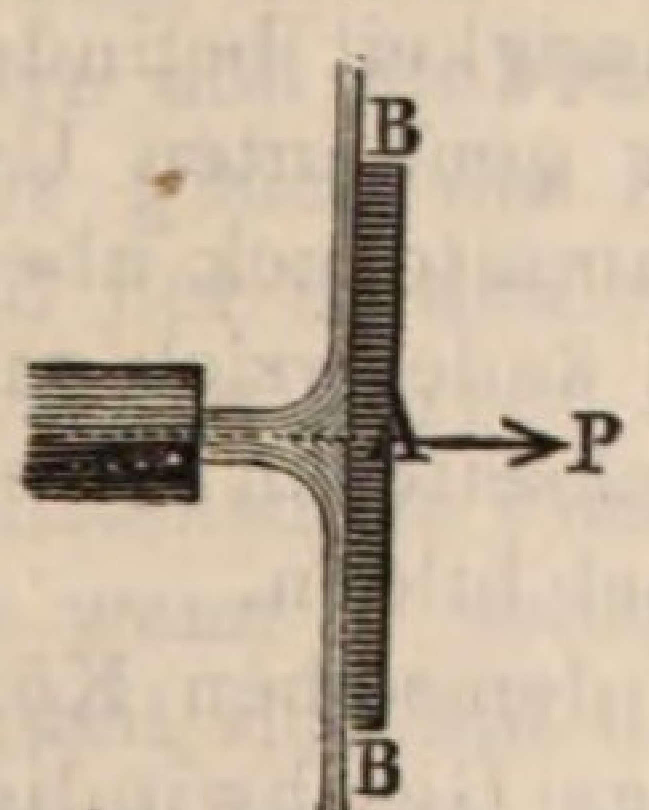


122 Wenn die ebene Fläche, welche den Stoss eines Flüssigkeitsstrahles empfängt, selbst in Bewegung ist, so findet man den Druck, welchen der Strahl auf sie ausübt, durch folgende Betrachtung. Offenbar wird die relative Bewegung des Flüssigkeitsstrahles zur Fläche, — welche Bewegung allein die Grösse des Druckes gegen diese Fläche bestimmt, — nicht im mindesten geändert, wenn man dem Flüssigkeitsstrahl und

der Fläche zusammen eine gemeinschaftliche Bewegung ertheilt. Wenn z. B. das Gefäss, aus welchem die Flüssigkeit ausfliesst, und die Fläche, gegen welche sie stösst, sich beide auf einem Schiffe befinden, so wird der Druck des Flüssigkeitsstrahles gegen die Fläche offenbar derselbe sein, ob das Schiff still steht oder ob es sich in der einen oder der anderen Richtung fortbewegt. Man kann daher annehmen, dass man den Flüssigkeitsstrahl und die bewegte Ebene, gegen welche jener stösst, mit einer Geschwindigkeit fortbewege, welche der Geschwindigkeit der Ebene gleich und entgegengesetzt ist; der Druck der Flüssigkeit gegen die Ebene wird dadurch nicht geändert. Da aber in Folge hiervon die Ebene zwei einander gleiche und entgegengesetzte Geschwindigkeiten erhält, so bleibt sie in Ruhe und bewegt sich nicht von der Stelle; die beiden Geschwindigkeiten aber, welche die Flüssigkeit besitzt, nämlich die ursprüngliche Ausflussgeschwindigkeit und die der Flüssigkeit ertheilte neue Geschwindigkeit, setzen sich zu einer einzigen Geschwindigkeit zusammen, welche die Resultirende aus den beiden genannten Geschwindigkeiten ist. Man hat also die Bestimmung des von einem Flüssigkeitsstrahle gegen eine bewegte Ebene ausgeübten Druckes auf den Fall zurückgeführt, wo diese Ebene in Ruhe ist.

Nehmen wir beispielshalber an, dass die Ebene *BB*, Fig. 171, die den Stoss des Flüssigkeitsstrahles empfängt, sich mit einer Geschwindigkeit bewege, welche in der Richtung *P* der Achse des Strahles mit der Bewegungsrichtung desselben übereinstimmt, oder mit anderen Worten, dass die Ebene dem Stosse so zu sagen ausweiche. Damit überhaupt in einem solchen Falle ein Druck gegen die Ebene ausgeübt werde, ist es erforderlich, dass die Geschwindigkeit der Flüssigkeitstheilchen grösser sei, als die der Ebene. Wenden wir dann die vorstehenden Erörterungen hierauf an, so ergiebt sich sofort, dass der von dem Flüssigkeitsstrahl gegen die bewegte Ebene ausgeübte Druck ebenso gross ist, als wenn die Ebene still stände und der Strahl eine Geschwindigkeit gleich dem Unterschiede aus seiner eigenen Geschwindigkeit und der der Ebene besässe.

Fig. 171.

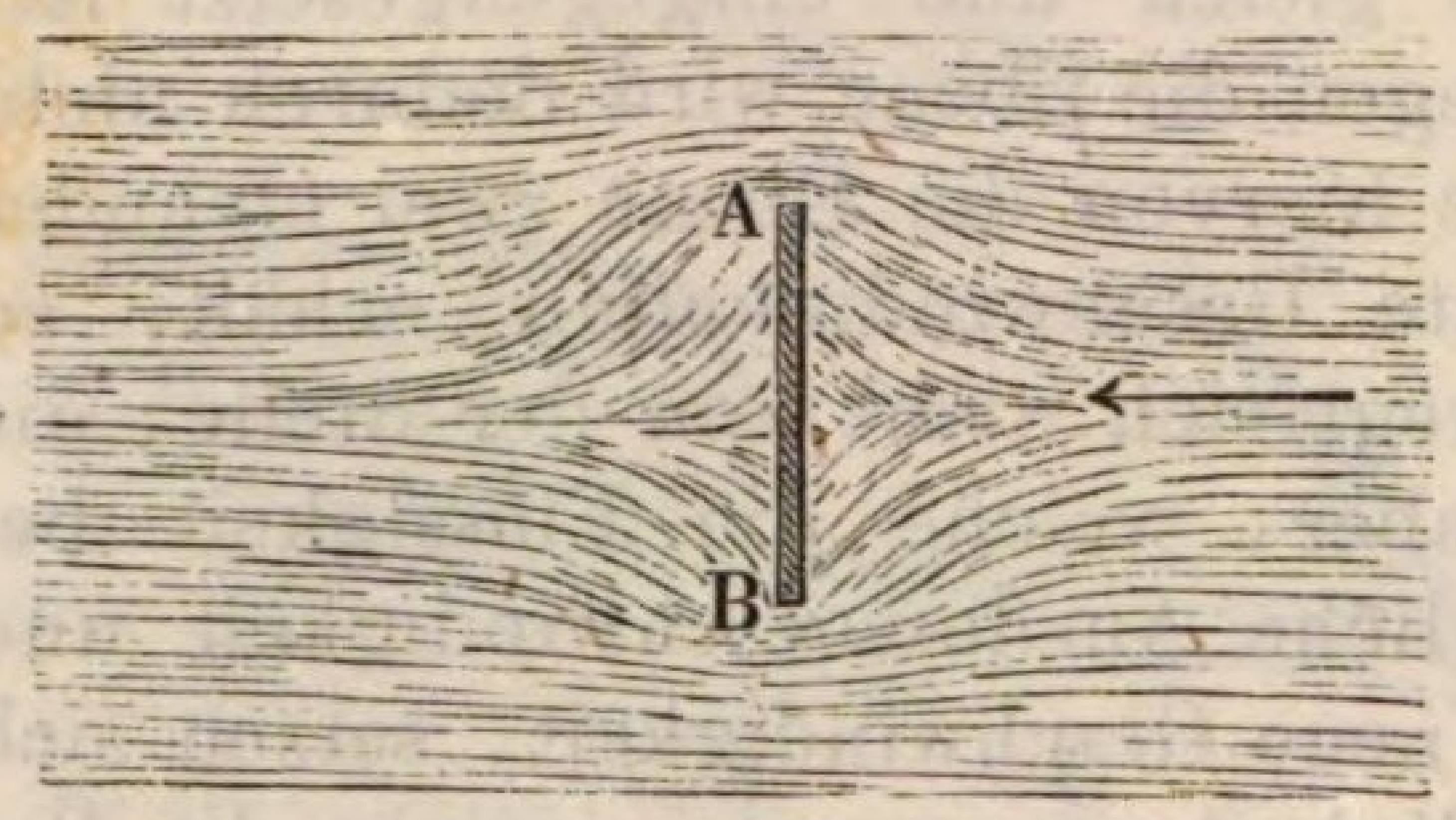


Wenn dagegen die Ebene sich zwar in der Richtung der Achse des Strahles, aber der Bewegungsrichtung der Flüssig-

keit entgegen bewegt, so ist der Druck des Strahles gegen die Ebene eben so gross, als wenn der Strahl mit einer Geschwindigkeit gleich der Summe aus der eigenen Geschwindigkeit und der der Ebene auf die unbewegliche Ebene stossen würde.

123 **Druck einer in Bewegung befindlichen Flüssigkeit gegen einen darin eingetauchten Körper.** Wenn eine Ebene AB, Fig. 172, in einer Flüssigkeit eingetaucht ist, die sich senkrecht gegen die Ebene bewegt, so erleidet sie in ähnlicher Art einen Druck, als wenn ein einzelner Flüssigkeitsstrahl gegen sie stösst. Die Kraft, mit welcher die Ebene festgehalten werden muss, damit sie nicht der Wirkung der Flüssigkeit folge, ist von zwei Ursachen abhängig; erstens übt die Flüssigkeit, wenn sie in Bewegung ist, gegen die vordere Seite der Ebene einen grösseren Druck aus, als wenn sie in Ruhe ist, und zweitens entsteht gleichzeitig auf der hinteren Seite der Ebene durch die daselbst sich bildenden Wirbel eine Abnahme des Druckes.

Fig. 172.



In gleicher Weise erleidet jeder andere Körper von beliebiger Gestalt, der sich in der bewegten Flüssigkeit befindet und darin festgehalten wird, aus den beiden genannten Ursachen einen entsprechenden Druck. Der Gesammtdruck aber, den derselbe erleidet, ist sehr verschieden und ändert sich mit der Gestalt sowohl der Vorderseite, als der Rückseite, in deren Nachbarschaft sich die vorhin gedachten Wirbel bilden.

Die Versuche lehren, dass bei einem und demselben Körper der genannte Druck proportional ist zu der Geschwindigkeit der Flüssigkeit, und dass bei einer und derselben Geschwindigkeit der Flüssigkeit und bei Körpern von ähnlicher Gestalt dieser Druck proportional ist zu dem Flächeninhalte des grössten Querschnittes des Körpers. Ist ein Körper nur theilweise in der Flüssigkeit eingetaucht, was z. B. der Fall ist, wenn er schwimmt, so hat man offenbar nur denjenigen Theil desselben in Betracht zu ziehen, der sich unterhalb des Wasserspiegels befindet.

Bei einer und derselben Geschwindigkeit und einer gleichen Ausdehnung des grössten Querschnittes des eingetauchten Körpers ist der Gesammtdruck der bewegten Flüssigkeit gegen denselben um so kleiner, je weniger die einzelnen Flächen, welche sich auf der Vorder- und Hinterseite des Körpers befinden, gegen die Richtung der Flüssigkeitsfäden geneigt sind; je mehr Ecken und Winkel, gegen welche die Flüssigkeitsfäden anstossen müssen, diese Theile enthalten, um so grösser ist auch der Gesammtdruck der Flüssigkeit gegen den Körper.

Wenn der in einer bewegten Flüssigkeit eingetauchte 124
Körper selbst in Bewegung ist, so braucht man nur zu verfahren wie in §. 122, um die Erscheinung auf den Fall zurückzuführen, wo der Körper festgehalten wird. Man ertheilt dann dem Körper und der Flüssigkeit, in der er sich befindet, zusammen eine gemeinschaftliche Bewegung, gleich und entgegengesetzt derjenigen, welche der Körper bereits besitzt. Da dieser dann zwei gleiche und entgegengesetzte Geschwindigkeiten hat, so bleibt er in Ruhe, wogegen die Flüssigkeit eine Geschwindigkeit erhält, welche sich aus der Zusammensetzung ihrer eigenen und der ihr neu ertheilten ergiebt. Man hat dann den bereits erörterten Fall, wo der Körper in der Flüssigkeit in Ruhe, diese selbst aber in Bewegung ist.

Wenn sich daher der Körper in derselben oder in der gerade entgegengesetzten Richtung bewegt, wie die Flüssigkeit, so ist der Druck, den er erleidet, ebenso gross, als wenn er selbst in Ruhe wäre und die Flüssigkeit sich gegen ihn mit einer Geschwindigkeit gleich der Differenz oder der Summe aus ihrer eigenen und der ihr neu ertheilten Geschwindigkeit bewegt hätte. Wenn sich ein Körper mit einer gewissen Geschwindigkeit in einer stillstehenden Flüssigkeit bewegt, so erleidet er denselben Druck, als wenn er selbst in der Flüssigkeit still stände und die Flüssigkeit sich mit der gleichen aber entgegengesetzten Geschwindigkeit gegen ihn bewegte. Man nennt diesen Druck, den ein Körper bei seiner Bewegung in einer Flüssigkeit erleidet, den **Widerstand** der Flüssigkeit. Es war davon bereits in I. §. 157 die Rede, und wir haben nunmehr das allgemeine Gesetz dieses Widerstandes kennen gelernt.

Die Kraft, die man anzuwenden hat, um ein Schiff fortzubewegen, hat, wenn man von dem geringen Widerstande der Luft absieht, nur den Widerstand des Wassers, in welchem es sich bewegt, zu überwinden, da ja die ganze Last des

schwimmenden Schiffes von dem Auftriebe der Flüssigkeit getragen wird. Um die zur Unterhaltung einer bestimmten Geschwindigkeit erforderliche Betriebskraft möglichst klein zu machen, oder auch um bei einer gegebenen Betriebskraft eine möglichst grosse Geschwindigkeit des Schiffes zu erhalten, muss man letzterem eine solche Form geben, dass bei derselben Grösse des unter Wasser befindlichen Volumens der Widerstand des Wassers so klein als möglich wird. Zugleich muss man dabei auf diejenigen Bedingungen Rücksicht nehmen, welche nach §. 60 die Stabilität des Gleichgewichtes bedingen. Alles dieses zusammengenommen führt dahin, dass man dem Vordertheile des Schiffes eine Gestalt giebt, die es ihm leicht macht, die Wellen zu durchschneiden; ausserdem aber rundet man allenthalben die Seitenwandungen ab, um den Widerstand des Wassers durch Beseitigung aller winkligen Vorsprünge auf ein Minimum zu reduciren.

Um zu zeigen, wie sehr die Form eines Schiffes auf den Widerstand des Wassers von Einfluss ist, wird es hinreichend sein, als Beispiel das Ergebniss eines von Bossut angestellten Versuches anzuführen. Das Modell eines Linienschiffes und ein Prisma von derselben Länge, dessen Grundfläche gleich dem grössten Querschnitte des Modells war, wurden in der Richtung ihrer Länge in einem stillstehenden Wasser, von welchem sie ein gleiches Volumen verdrängten, mit derselben Geschwindigkeit in Bewegung gesetzt; Bossut fand, dass das Wasser dem Prisma einen fünfmal so grossen Widerstand entgegensetzte, als dem Schiffsmodell.

125 **Druck eines in Bewegung befindlichen Gases gegen einen Körper.** Wenn ein Gasstrahl gegen einen festen oder einen beweglichen Körper trifft, so übt er in ähnlicher Art, wie dieses unter gleichen Umständen von einem Flüssigkeitsstrahle geschieht, einen Druck auf den Körper aus. Dieser Druck befolgt dieselben Gesetze, wie sie in den §§. 119 bis 123 für die Flüssigkeiten aufgestellt worden sind; der einzige Unterschied zwischen diesen beiden Fällen besteht nur in der Stärke des ausgeübten Druckes, der in Folge der weit geringeren Masse, welche den Stoss bewirkt, bei den Gasen kleiner ist, als bei den Flüssigkeiten.

Ebenso erleidet ein Körper, der sich in einem bewegten Gase befindet, in ähnlicher Art einen Druck, als wenn er sich in einer bewegten Flüssigkeit befindet. Wenn sich der Körper in einem ruhenden Gase bewegt, so giebt sich dieser Druck als einen

Widerstand zu erkennen, und er unterliegt denselben Gesetzen, welche in diesem Falle (§. 123 und §. 124) für die Flüssigkeiten aufgestellt sind.

Widerstand der Luft bei dem Falle der Körper. Wir 126
haben bereits in I. §. 100 gesehen, dass in Folge des Widerstandes der atmosphärischen Luft nicht alle Körper mit derselben Geschwindigkeit herunterfallen. Die vorstehenden Erörterungen geben uns ein Mittel an die Hand, die Art und Weise, wie der Luftwiderstand auf die verschiedenen Körper einwirkt, zu erkennen.

Wenn ein Körper in einem lufterfüllten Raume fällt, so wirken zwei Kräfte auf ihn ein, sein eigenes Gewicht und der Widerstand der Luft. Für Körper von gleichem Gewichte aber verschieden grosser Oberfläche ist die erstgenannte Kraft dieselbe, die zweite ist dagegen um so grösser, je grösser die Oberfläche ist, welche bei der Bewegung unmittelbar auf die entgegenstehende Luft trifft; derartige Körper fallen also um so langsamer, je grösser die Fläche ist, mit der sie der Luft begegnen. Ein und derselbe Körper wird aus demselben Grunde je nach seiner Stellung, die er beim Fallen einnimmt, schneller oder langsamer fallen; ein Blatt Papier fällt daher sehr ungleich geschwind, je nachdem man seine Fläche wagerecht oder vertical hält.

Körper derselben Art und von ähnlicher Gestalt werden nicht gleich schnell fallen, wenn sie verschiedene Grössen haben. Wenn von zwei Bleikugeln die eine einen doppelt so grossen Durchmesser hat als die andere, so ist die grössere Kugel 8mal so schwer, als die kleinere und dasselbe Verhältniss besteht auch zwischen ihren Massen; wenn daher beide Kugeln gleich schnell fallen sollten, so müsste der Luftwiderstand gegen die grössere Kugel auch 8mal so gross sein, als gegen die kleinere. Aber dieses ist nicht der Fall; bei gleicher Geschwindigkeit ist der Widerstand, welchen die Luft der grösseren Kugel entgegensetzt, nur 4mal so gross, als der Widerstand gegen die kleinere Kugel, weil sich die grössten Querschnitte der beiden Kugeln wie 4 : 1 verhalten; die grössere Kugel wird daher schneller fallen als die kleinere. Dieselben Betrachtungen lassen erkennen, warum Geschützkugeln von demselben Material aber von verschiedener Grösse um so weiter fliegen, je grösser sie sind; der Widerstand der Luft, den diese Geschosse erleiden, macht sich um so weniger fühlbar, je grösser das Verhältniss ist zwischen der Masse der Kugel und ihrer Oberfläche.

Wenn ein Körper in der Luft fällt, so ist seine Bewegung

eine beschleunigte, jedoch ist die Beschleunigung nach Maassgabe der Einwirkung des Luftwiderstandes kleiner, als wenn er im luftleeren Raume fallen würde. In dem Maasse, als seine Geschwindigkeit grösser wird, vergrössert sich auch der Widerstand der Luft und seine Beschleunigung wird kleiner, weil der Ueberschuss seines Gewichtes über den Widerstand der Luft fortwährend abnimmt. Ja es ist leicht einzusehen, dass die Geschwindigkeit des fallenden Körpers sogar eine bestimmte Gränze nicht überschreiten kann, und diese Gränze ist diejenige, bei welcher der Widerstand der Luft gleich ist dem Gewichte des Körpers. Wenn nämlich der Körper diese Geschwindigkeit erreicht hat, so hält der Widerstand der Luft, welcher als eine verzögernd wirkende Kraft anzusehen ist, der Beschleunigung durch die Schwere das Gleichgewicht und die Bewegung wird von da ab eine gleichförmige. Diese Gränze für die grösste Geschwindigkeit wird um so schneller erreicht, je grösser bei einer und derselben Masse des Körpers die Oberfläche ist, mit welcher er sich der Luft entgegen bewegt. Hieraus lässt sich auch die Wirkung der Fallschirme, mittelst deren man sich von einer bedeutenden Höhe ohne Gefahr herunterfallen lassen kann, leicht erklären. Der Fallschirm, Fig. 173 und Fig. 174,

Fig. 173.



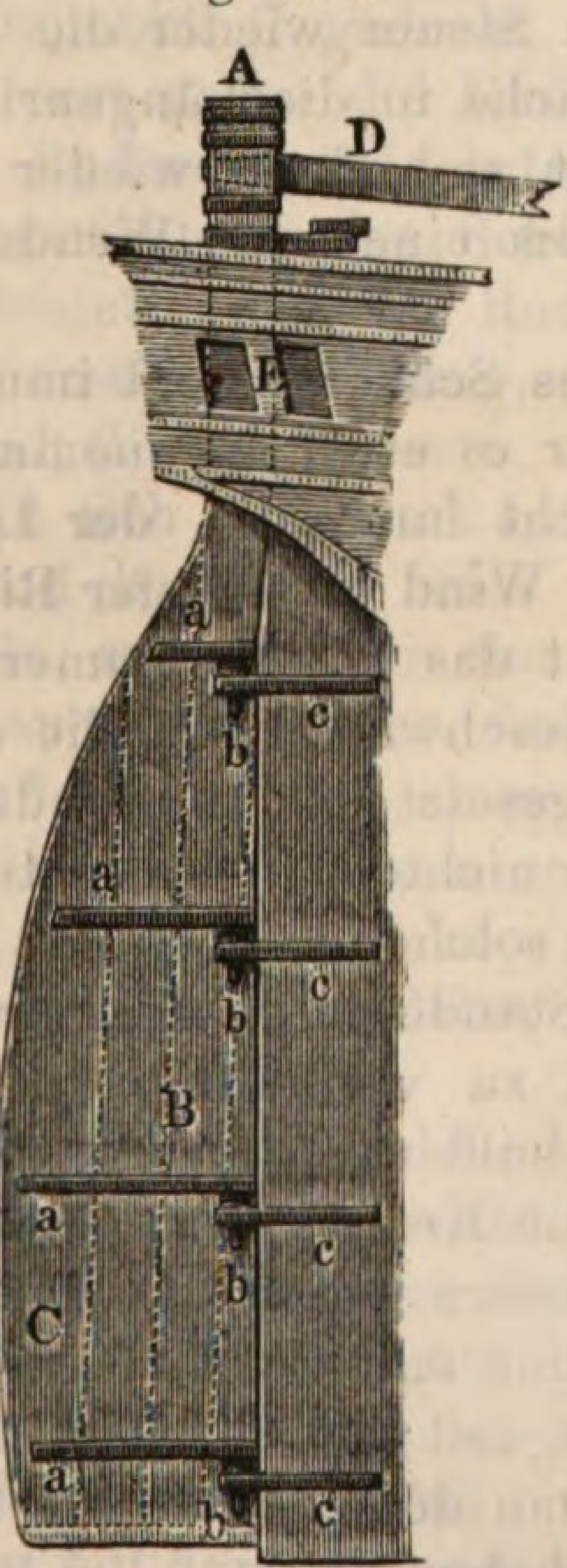
Fig. 174.



ist nämlich eine Vorrichtung, die genau die Einrichtung eines grossen Regenschirmes hat, an dessen unterem Ende sich ein Korb befindet, um sich darin niederzusetzen. Wenn der Fallschirm, wie in Fig. 173, geschlossen ist, so fällt er wie jeder andere Körper mit einer grossen Geschwindigkeit herab; wenn er dagegen, wie in Fig. 174, geöffnet ist, so bietet er der Luft eine grosse Fläche dar, so dass er in Folge des bedeutenden Widerstandes trotz des Gewichtes, mit welchem er unten belastet ist, nur eine sehr mässige Geschwindigkeit annehmen kann. Wenn der Schirm, bevor er sich geöffnet hat, bereits eine grosse Geschwindigkeit besitzt, so nimmt dieselbe doch von dem Augenblicke an, wo er sich öffnet, in Folge der Ueberwucht des Luftwiderstandes über das Gewicht des Schirmes ab, und die Bewegung wird langsamer.

Wirkung des Steuerruders. Das Steuerruder, welches 127
man am Hintertheile eines Schiffes anbringt, hat den Zweck, das Schiff in jeder beliebigen Richtung zu bewegen. Es besteht im Wesentlichen aus einer ebenen Fläche *B C*, Fig. 175, das

Fig. 175.

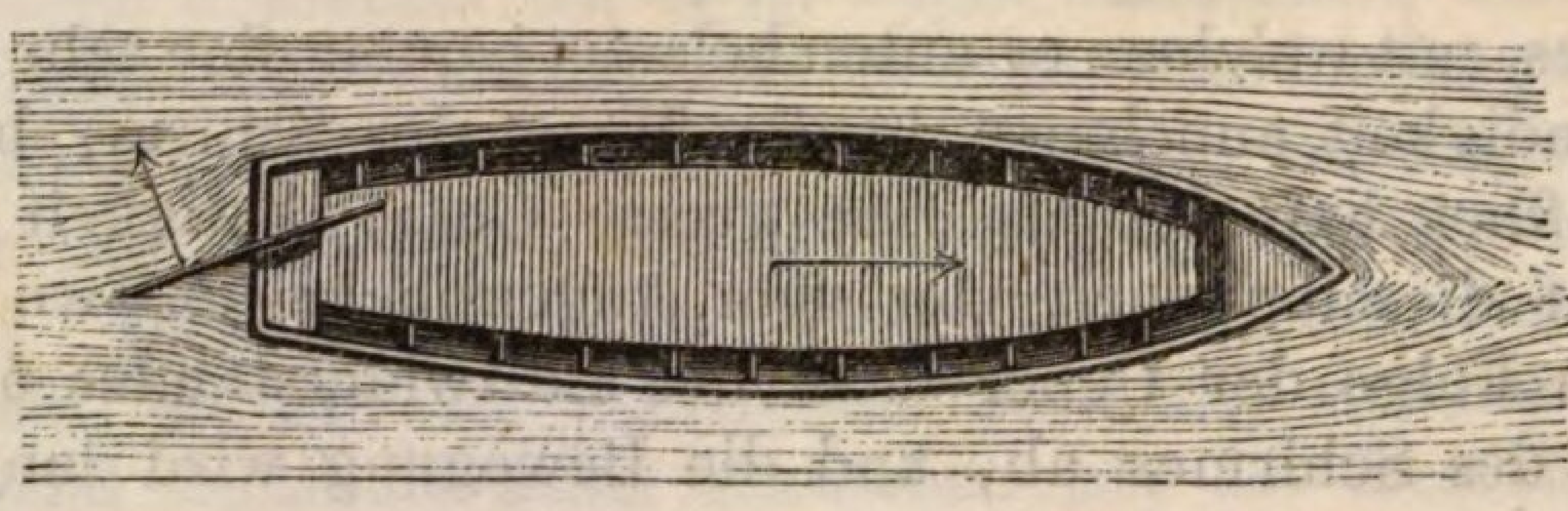


Blatt genannt, welches sich in verticaler Stellung mittelst der Angeln *a*, *a* . . in den auf dem Schiffe befestigten Fingerlingen *c*, *c* . . scharnierartig drehen lässt. Die Drehung wird durch einen in wagerechter Richtung auf dem Verdecke sich erstreckenden Hebel *A D*, oder bei grösseren Schiffen durch ein Spillenrad bewirkt, auf dessen Achse sich eine Schraube ohne Ende befindet und dessen Bewegung vermittelst eines in die Schraubenwindungen eingreifenden Zahnrades auf den Ruderschaft *A* übertragen wird.

Nehmen wir an, dass das Wasser, durch welches das Schiff sich bewegen soll, in Ruhe sei, dass die Kraft, welche dasselbe fortzutreiben hat, in der Richtung seiner Länge wirke, und dass es seine Bewegung in dieser Richtung eine Zeit lang beibehalten soll. In diesem Falle muss die Fläche des Steuers offenbar ebenfalls in der Längenrichtung des Schiffes oder in der

Richtung der anfänglichen Bewegung liegen. Soll dagegen nach einer bestimmten Zeit das Schiff seine Richtung ändern, so dass z. B. das Vordertheil sich von der früheren Bewegungsrichtung rechts abdreht, so muss man das Steuerblatt nach derselben Richtung hin drehen, wie in Fig. 176. Indem dann das Schiff

Fig. 176.

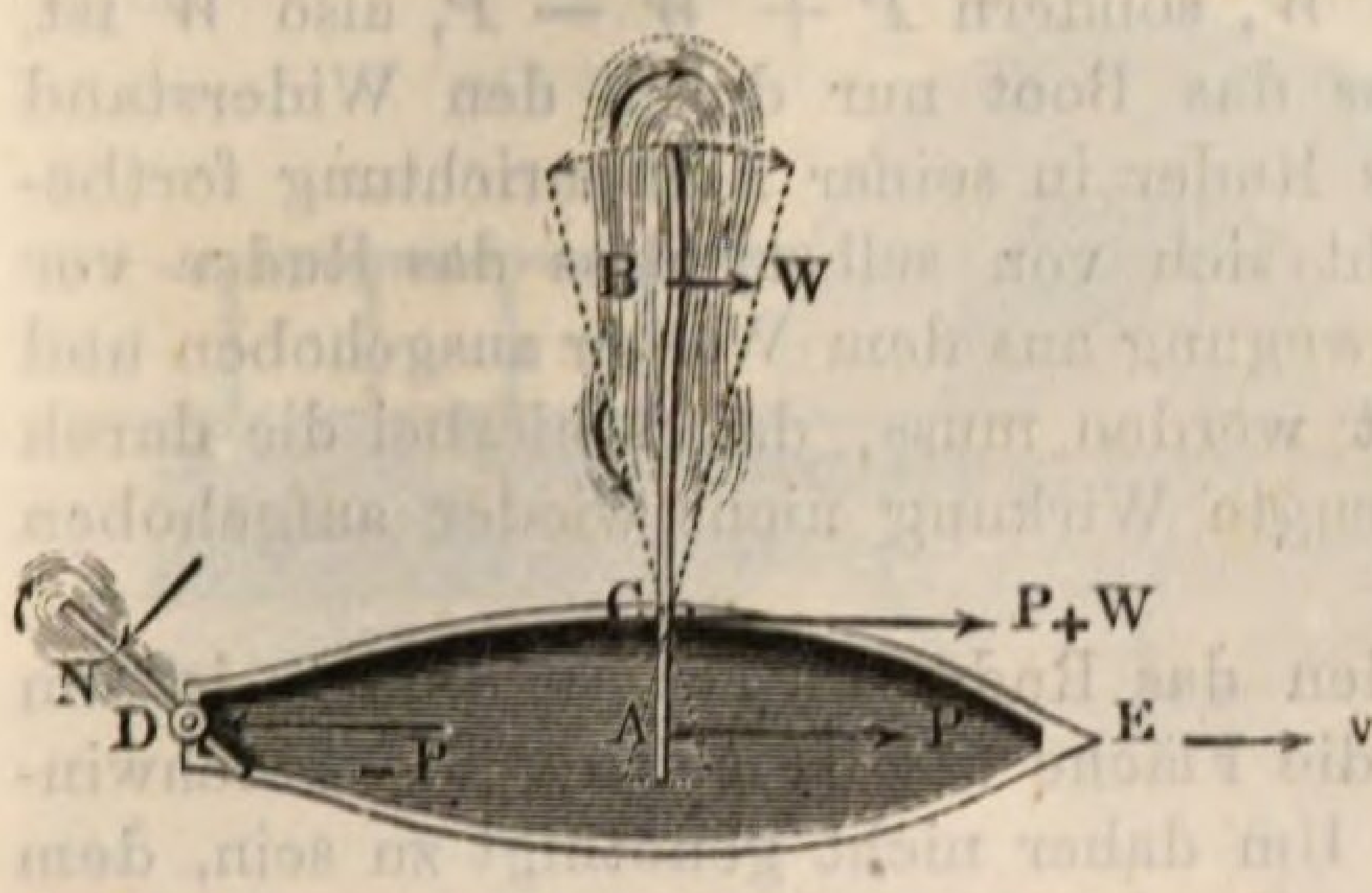


das Bestreben hat, in der anfänglichen Richtung vorwärts zu gehen, erleidet das Steuerblatt von Seiten der widerstehenden Flüssigkeit einen normalen Druck, der das mit dem Steuer verbundene Schiff dreht und in die beabsichtigte Richtung bringt. Wenn auf diese Weise das Schiff die verlangte Richtung angenommen hat, giebt man dem Steuer wieder die anfängliche Stellung, bei welcher seine Fläche in die Längenrichtung des Schiffes fällt; das Schiff bewegt sich dann wieder so lange in gerader Richtung vorwärts, bis eine neue Wendung des Steuers es daraus entfernt.

Indessen erfolgt die Bewegung eines Schiffes nicht immer unter so einfachen Bedingungen, als wir es eben angenommen haben. Die bewegende Kraft wirkt nicht immer in der Längenrichtung des Schiffes, z. B. wenn der Wind in schiefer Richtung auf die Segel fällt; ebenso wenig ist das Wasser immer in Ruhe, es besitzt vielmehr sehr oft eine Geschwindigkeit, die der Bewegung des Schiffes gerade entgegengesetzt ist, woraus dann folgt, dass der Widerstand des Wassers nicht in der Richtung der Schiffsachse wirkt. Hätte das Schiff in solchen Fällen nicht ein Steuerruder, so würde es gar nicht im Stande sein, die vorgeschriebene Richtung einzuschlagen und zu verfolgen. Indem man aber das Steuer anwendet und es bald nach dieser, bald nach jener Seite hin dreht, tritt eine neue Kraft hinzu, nämlich der Druck oder der Widerstand des Wassers gegen das Steuer, und indem sich diese Kraft, deren Richtung man durch die Drehung des Steuers beliebig abändern kann, mit den eben genannten anderen Kräften verbindet, kann man dem Schiffe die Bewegungsrichtung ertheilen, die es eben haben soll.

Bewegung eines Kahnes durch Ruder. Das Ruder ist 128
ein geradliniger Hebel AB, Fig. 177, der sich gegen einen auf der Schiffswand befestigten Bolzen C stützt, oder auch wohl zwischen zwei daselbst angebrachten Pflöcken drehen lässt. Das eine Ende B ist schaufelförmig erweitert und taucht unter Wasser, während ein mit dem Rücken gegen das Vordertheil des Schiffes E gewandter auf dem Kahne sitzender Mensch mit einer gewissen Kraft P auf das andere Ende A wirkt und dadurch die Schaufel B in der entgegengesetzten Richtung gegen das Wasser drückt. Auf diese Weise wird das Ruder um seinen Stützpunkt C gedreht und hierdurch ein Widerstand W des Wassers gegen die Ruderfläche erzeugt, welcher der Bewegung des Ruders gerade entgegengesetzt ist und daher in der Bewegungsrichtung des Schiffes wirkt, wie es der beigesetzte Pfeil andeutet. Auf das Ruder wirken daher zwei parallele Kräfte in derselben Richtung, der Zug P des Menschen und der Widerstand W des Wassers, und aus der Zusammensetzung beider ergiebt sich ein Druck auf den Bolzen C gleich $P + W$, von dem es auf den ersten Blick scheinen könnte, dass er die Kraft darstelle, mit welcher der Kahn vorwärts bewegt wird. Allein bei genauerem Zusehen findet man, dass der Mensch mit seinen Händen nur dann einen Druck oder einen Zug auf das Ruder A ausüben kann, wenn er sich zugleich mit seinen Füssen gegen den Boden des Kahnes stützt und dadurch auf letzteren einen Druck ausübt, welcher dem Drucke der Hände gleich und entgegengesetzt ist.

Fig. 177.



Die Kraft, welche der Ruderer durch die Contraction der Muskeln erzeugt, wirkt wie eine Feder, die zusammengedrückt worden ist und bei ihrer Ausdehnung mit ihren Enden nach beiden Seiten hin auf die Körper, mit denen sie in Berührung steht, einen Druck ausübt. Der Druck des Ruderers gegen das Ruder bewirkt daher, wie wir eben gesagt haben, in Verbindung mit dem Widerstande des Wassers zwar einen Druck gleich

$P + W$ in der Achsenrichtung des Kahnes, allein seine Füsse üben zugleich einen entgegengesetzten Druck P auf den Kahn aus, so dass der wirkliche Druck, unter welchem sich derselbe fortbewegt, nicht $P + W$, sondern $P + W - P$, also W ist. Man sieht hieraus, dass das Boot nur durch den Widerstand des Wassers gegen das Ruder in seiner Achsenrichtung fortbewegt wird. Es versteht sich von selbst, dass das Ruder vor seiner rückgängigen Bewegung aus dem Wasser ausgehoben und durch die Luft bewegt werden muss, damit hierbei die durch die erste Drehung erzeugte Wirkung nicht wieder aufgehoben werde.

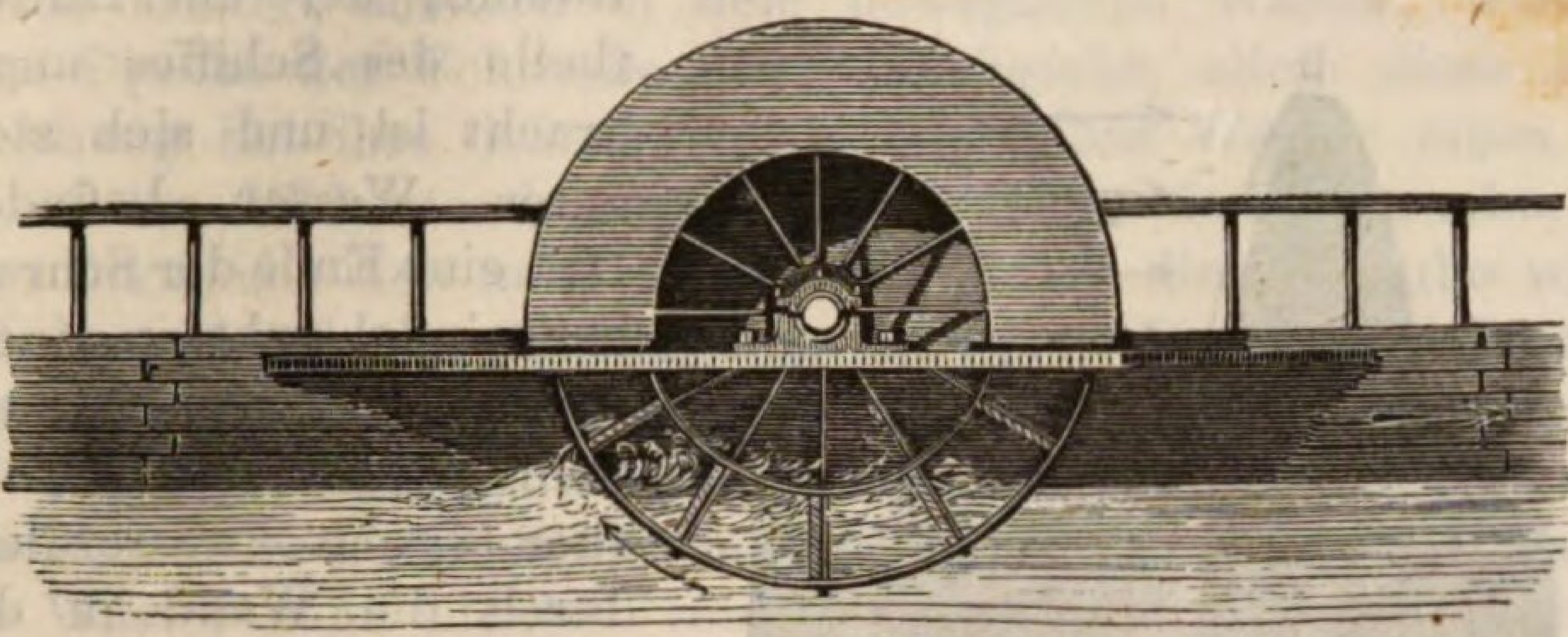
Der Widerstand, den das Ruder im Wasser findet, ist um so grösser, je breiter die Fläche und je grösser die Geschwindigkeit des Ruders ist. Um daher nicht genöthigt zu sein, dem Ruder eine sehr grosse Geschwindigkeit zu geben, was doch zur Erzielung einer gewissen Fahrgeschwindigkeit erforderlich, aber für den Ruderer sehr ermüdend sein würde, giebt man lieber dem ins Wasser eintauchenden Ende des Ruders eine grössere Fläche, wodurch bei einer mässigen Bewegung des letzteren dieselbe Wirkung erzielt wird, als bei einer schnellen Bewegung und einer geringeren Breite desselben.

Da die Kraft $P + W$, nämlich der Druck auf den Bolzen C, als an dem Hebelarme CA wirkend erscheint, so sucht diese Kraft mit einem Momente $(P + W) \cdot CA$ den Kahn um den Punkt A zu drehen. Um diese Drehbewegung zu verhindern, muss entweder ein Steuerruder D zu Hülfe genommen und dieses nach der Seite des Ruders gestellt werden, oder man muss auf der anderen Seite des Kahnes noch ein zweites Ruder in Bewegung setzen.

129 **Bewegung der Schiffe durch Schaufelräder; Dampfschiff.** Wollte man ein grosses Schiff mit Hülfe der Ruder fortbewegen, so würde eine sehr grosse Anzahl von Rudern nöthig werden, was in vielfacher Beziehung, namentlich bei länger dauernden Fahrten, unthunlich sein würde. In solchen Fällen ersetzt man die Ruder durch Schaufelräder, Fig. 178, und versetzt diese durch eine Dampfmaschine in Umdrehung. Ein jedes Dampfschiff hat zwei solche Räder; dieselben sitzen an den Enden einer horizontalen Welle, welche quer durch das Schiff hindurchgeht und von einer Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wird. Die Schaufeln dieser Räder wirken genau so, wie die Ruder. Wenn sie sich in dem unteren Theile des von ihnen

beschriebenen Kreises befinden, so tauchen sie ins Wasser und bewegen sich in der Richtung vom Vordertheile nach dem Hin-

Fig. 178.



tertheile des Schiffes. Darauf treten sie wieder aus dem Wasser und bewegen sich durch die Luft in der entgegengesetzten Richtung, um dann wieder in das Wasser einzuschlagen und die vorige Bewegung zu wiederholen. Auch in diesem Falle bildet der Widerstand des Wassers gegen die im Wasser sich bewegenden Schaufeln die bewegende Kraft, welche beständig auf das Schiff wirkt und die Geschwindigkeit desselben zu vergrössern strebt.

Bewegung der Schiffe durch Schrauben; Schraubenschiff. Wie wir nachher sehen werden, vereinigen die Schaufelräder mehrere Nachtheile in sich, welche sich beseitigen lassen, wenn man das Schiff mit Hülfe einer Schraube fortbewegt. 130

Um die Wirkung der Schraube zu verstehen, erinnern wir zunächst daran, dass dieselbe in der Richtung ihrer Achse um die Höhe eines Schraubenganges vor- oder zurückgeht, wenn man sie in ihrer Mutter nach der einen oder der anderen Richtung einmal rund dreht. Haben die Schraubengänge eine grosse Höhe, so ist auch bei jeder Umdrehung derselben die fortschreitende Bewegung der Schraube gross, wobei immer vorausgesetzt wird, dass die Mutter, in welcher sie sich dreht, fest bleibe. Beträgt z. B. bei einer Schraube bd, Fig. 179 (a. f. S.), die Ganghöhe, welche offenbar doppelt so gross ist, als die Linie $r' s'$, zehn Fuss, so rückt die ganze Achse mit Allem, was daran befestigt ist, bei einer einmaligen Umdrehung in einer festen Mutter um zehn Fuss vorwärts; sie würde demnach, wenn sie stets in einer festen Mutter bliebe und in der Minute 80mal rund gedreht würde, in dieser Zeit um 800 Fuss fortschreiten.

Eine solche Schraube *A* von Eisen, einfach oder, wie in Fig. 180, mit zwei um 180 Grad von einander abstehenden Windungen, liegt in einem viereckigen Raume, der am Hintertheile des Schiffes angebracht ist und sich stets unter Wasser befindet. Das eine Ende der Schraubenspindel ruht in einem starken Lager dieses Ausschnittes, das andere Ende aber geht wasserdicht durch die Wand in das Innere des Schiffskörpers hinein, wo es in passender Weise mit der in der Mitte des Schiffes aufgestellten Dampfmaschine in Verbindung steht. Die Dampfmaschine treibt in ähnlicher Weise, wie bei dem Raddampfer die Schaufel-

Fig. 179.

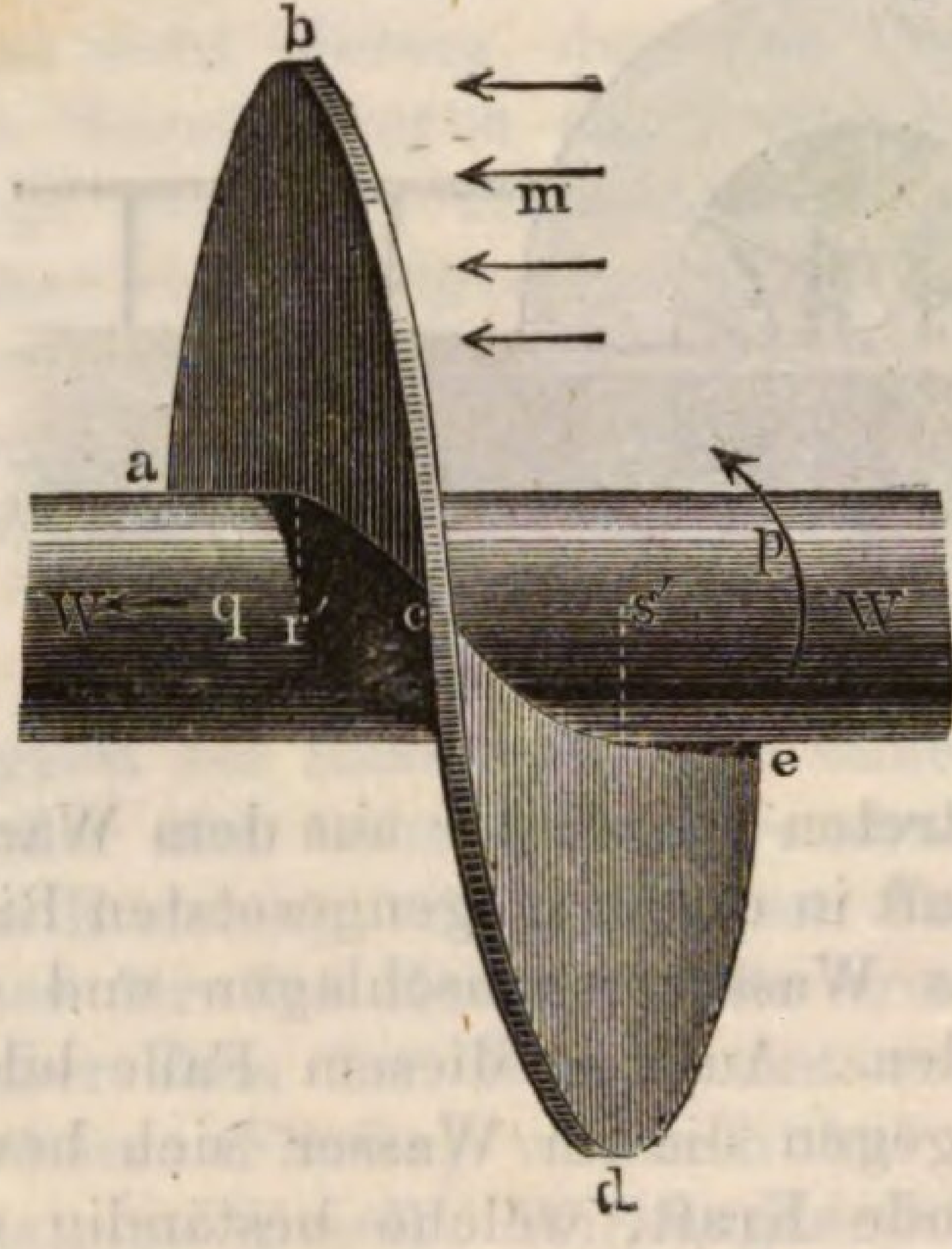
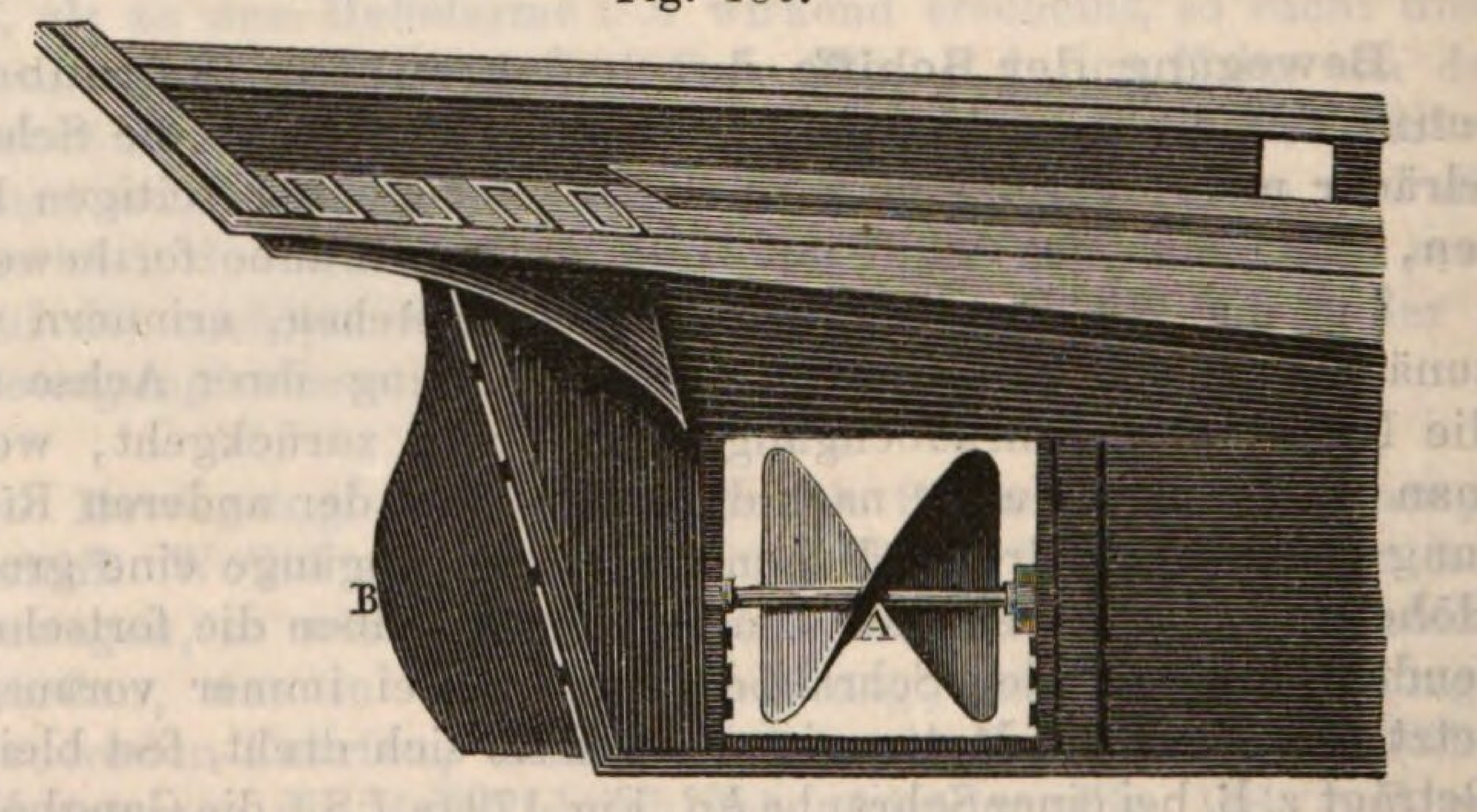


Fig. 180.



räder, bei dem Schraubenschiffe die Schraubenwelle und damit zugleich die Schraube *A* sehr schnell rund, wodurch, wie wir sogleich näher sehen werden, die Schraube und Alles, was damit fest verbunden ist, also das ganze Schiff, je nach der Richtung der Drehung vorwärts oder rückwärts geht. Das Schraubenschiff hat demnach, wie der Raddampfer, eine Dampf-

maschine; dagegen fallen bei ihm die Schaufelräder nebst dem Radkasten ganz weg.

Die Schiffsschrauben drehen sich nun zwar nicht in einer festen Mutter, sondern in dem beweglichen Wasser, welches dem Drucke der Schraube etwas nachgiebt; allein diese Ausweichung hat ihre Gränze und es leistet das Wasser einen bedeutenden Widerstand gegen die Flächen der Schraube, so dass die Sache sich nahe so verhält, als ob die Schraube wirklich in einer festen Mutter sich drehte. Wird die Schraube, Fig. 179, im Wasser in der Richtung des Pfeiles um ihre Achse $W'W$ schnell rund gedreht, so sucht ihre breite Fläche *abcde* das Wasser fortzuschleudern und auf die Seite zu schieben; aber das Wasser kann nicht so schnell ausweichen und leistet einen Widerstand, dessen Grösse von der Grösse der Fläche und von der Geschwindigkeit der Drehung abhängt. Es muss daher die Schraube sich nothwendig gegen das Wasser anstemmen, als ob sie daselbst in einer festen Mutter läge, sich also nach der Richtung des Pfeiles *q* fortschieben und, wenn sie wie in Fig. 180 in einem Schiffe befestigt ist, dieses mit sich fortziehen, sobald nur der Widerstand des Wassers gegen die Schraubenfläche grösser ist, als gegen den Schiffskörper.

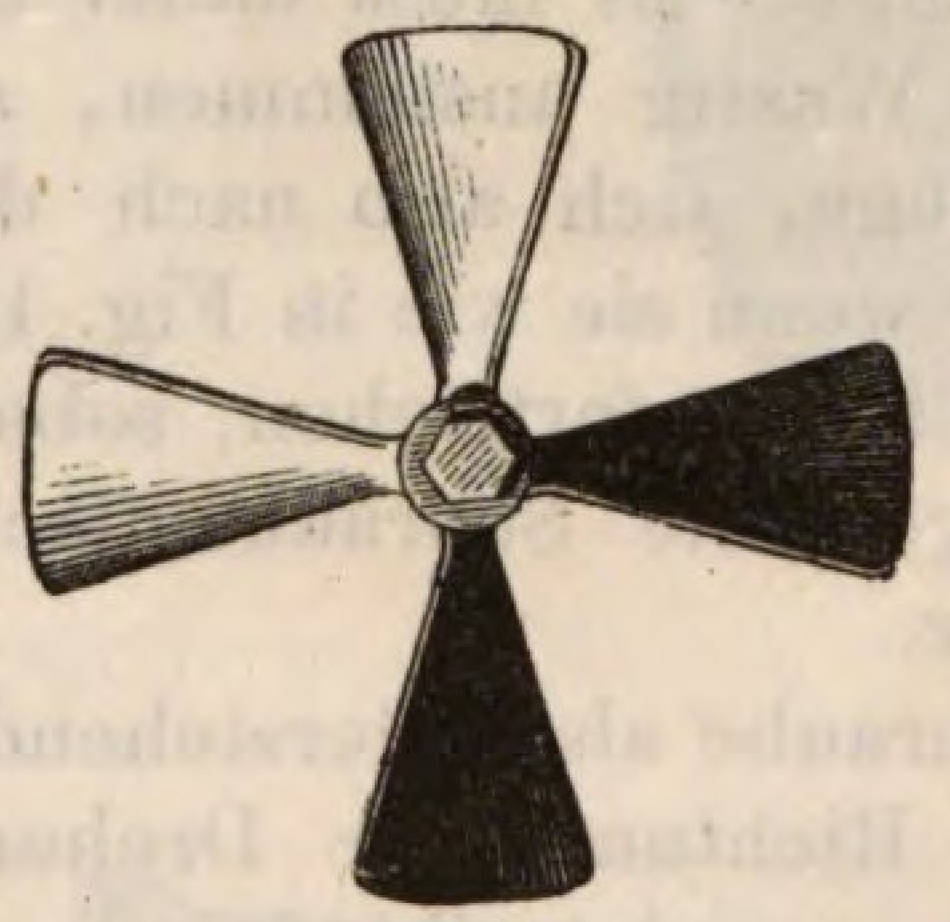
Das Wasser dient also der Schiffsschraube als widerstehende, theilweise feste Mutter; je nach der Richtung der Drehung schraubt sie sich darin hinein oder heraus und treibt das daran befestigte Schiff vorwärts oder rückwärts. Zwar steht bei dieser Drehung das Wasser nicht vollkommen fest, sondern es weicht etwas nach der entgegengesetzten Richtung zurück; daraus folgt aber nur, dass die Schraube bei einem einmaligen Umdrehen nicht ganz um den vollen Betrag ihrer Ganghöhe fortgehen kann, sondern um so viel weniger, als das Wasser zurückweicht. Gesetzt die Höhe eines Schraubenganges wäre 12 Fuss, die Zahl der Umdrehungen in der Minute wäre 150, und das Wasser weiche bei jeder Drehung um 2 Fuss zurück, so würde die Schraube bei einem Umlaufe immer noch um 10 Fuss, also in der Minute um 150 mal 10 oder 1500 Fuss sich von der Stelle bewegen, und bei hinreichend grosser Kraft das damit verbundene Schiff mit derselben Geschwindigkeit ($3^3/_4$ deutsche Meilen in der Stunde) fortbewegen.

Hieraus ergeben sich für die Construction der Schiffsschraube drei Bedingungen: sie muss wie das Ruder einen grossen Durchmesser, also eine breite Gangfläche haben, damit sie einen grossen Widerstand und eine möglichst feste Stütze im Wasser

erhalte; dann muss die Ganghöhe angemessen gross sein, damit sie bei jeder Drehung um eine angemessene Grösse vorwärts oder rückwärts gehe, und endlich muss ihre Geschwindigkeit oder die Anzahl der Umdrehungen in einer bestimmten Zeit möglichst gross sein, weil hiervon in Verbindung mit der Grösse der Ganghöhe die Geschwindigkeit des Schiffes abhängt.

Die Form der Schraube ist seit ihrer ersten Anwendung in dem von dem Engländer Smith 1840 erbauten Schraubenschiff „Archimedes" vielfach abgeändert worden. Da das von der Schraubenfläche verdrängte Wasser cylinderartig mit der Schraube rund geschleudert und demselben auf Kosten der von der Dampfmaschine entwickelten Kraft in unnützer Weise eine zu grosse Bewegung ertheilt wird, so verkürzte man die Schraube und fand, dass vier Viertelswindungen wirksamer waren, als die beiden halben Windungen der Fig. 180. Dabei rückte man die einzelnen Windungen ganz nahe zusammen, gab ihnen eine verschränkte Stellung zu der Achse und verkürzte dadurch die Schraubenachse um einen beträchtlichen Theil ihrer Länge. So erhielt die Schraube die Gestalt eines Flügelrades, wie Fig. 181 mit vier Flügeln, oder mit drei Flügeln *F*, *G*, *L*, Fig. 182, oder nur mit zwei Flügeln *A*, *B*, Fig. 183. Die Flügel lassen sich hier durch einen besonderen Hebelmechanismus *EFG* mit ihren zapfenförmigen Stielen in dem Muffe drehen, welcher auf der Schraubenachse *C* festsitzt. Soll nun bei Anwendung der Windkraft und der Segel die Schraube zeitweilig ausser Dienst gesetzt werden, so dreht man ihre Flügel durch den angedeuteten Hebelmechanismus so, dass sie nahe die Achsenrichtung des Schiffes annehmen und so der Bewegung des Schiffes keinen Widerstand entgegen setzen. Um die Flügel in dieser Lage zu erhalten, lässt man noch die am Ende des verticalen Stieles *HK* angebrachte Klammer *K* herab, und erfasst damit den einen Flügel an seinem äussersten Rande. Die Fig. 184 (a. S. 238) zeigt, wie man gegenwärtig die Schraube anbringt; man ersieht daraus, dass sie sich ganz nahe am Hintertheile des Schiffes, möglichst tief und unmittelbar vor dem Steuerruder befindet, und dass demzufolge auch die Dampfmaschine eine tiefe Lage im Schiffskörper erhält, was zur Vermehrung der Stabilität des Schiffes nicht wenig beiträgt.

Fig. 181.



Die Vortheile, welche die Schraubenschiffe vor den Raddampfern voraus haben, sind sehr bedeutend. Durch das Weg-

Fig. 182.

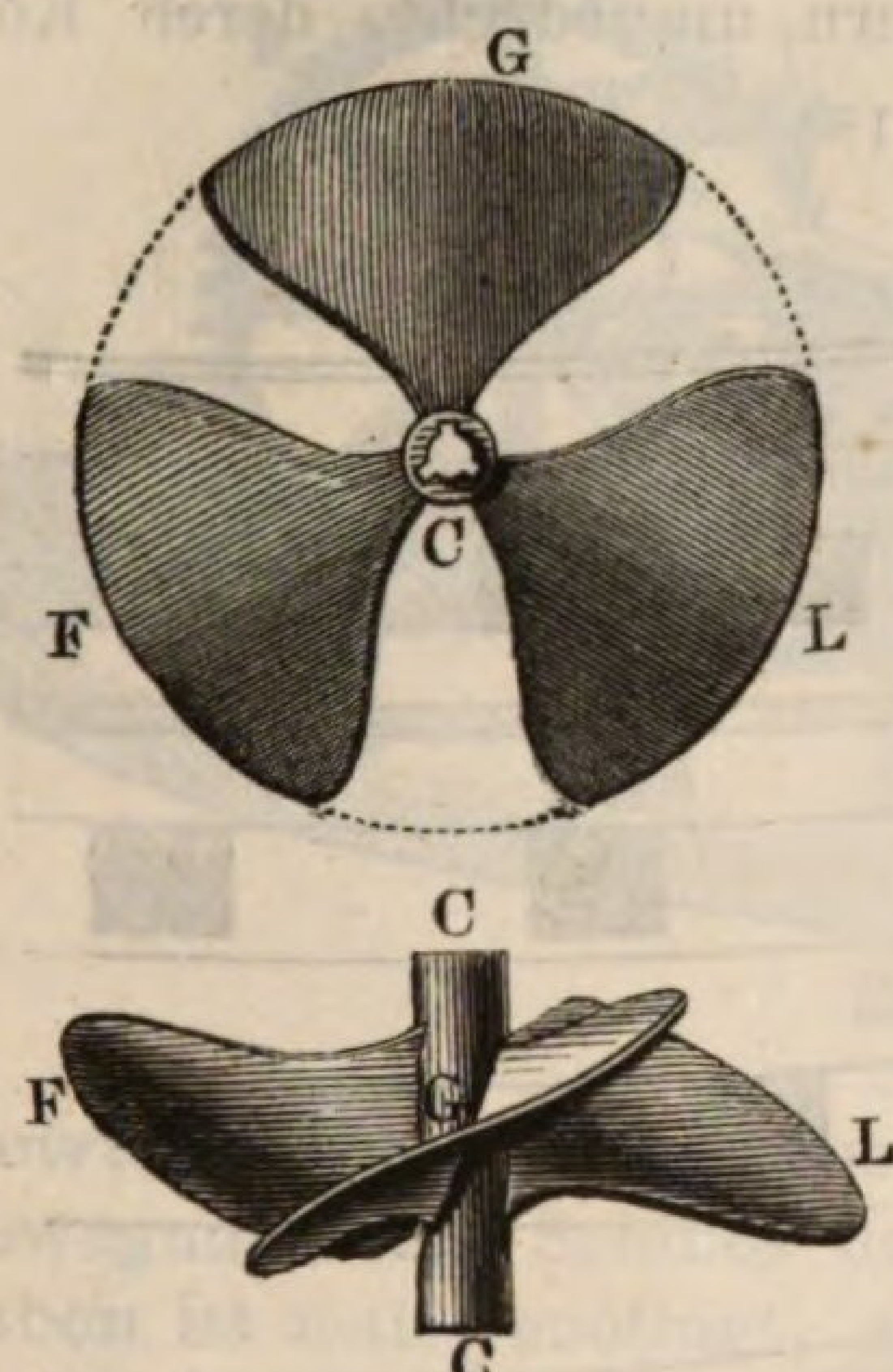
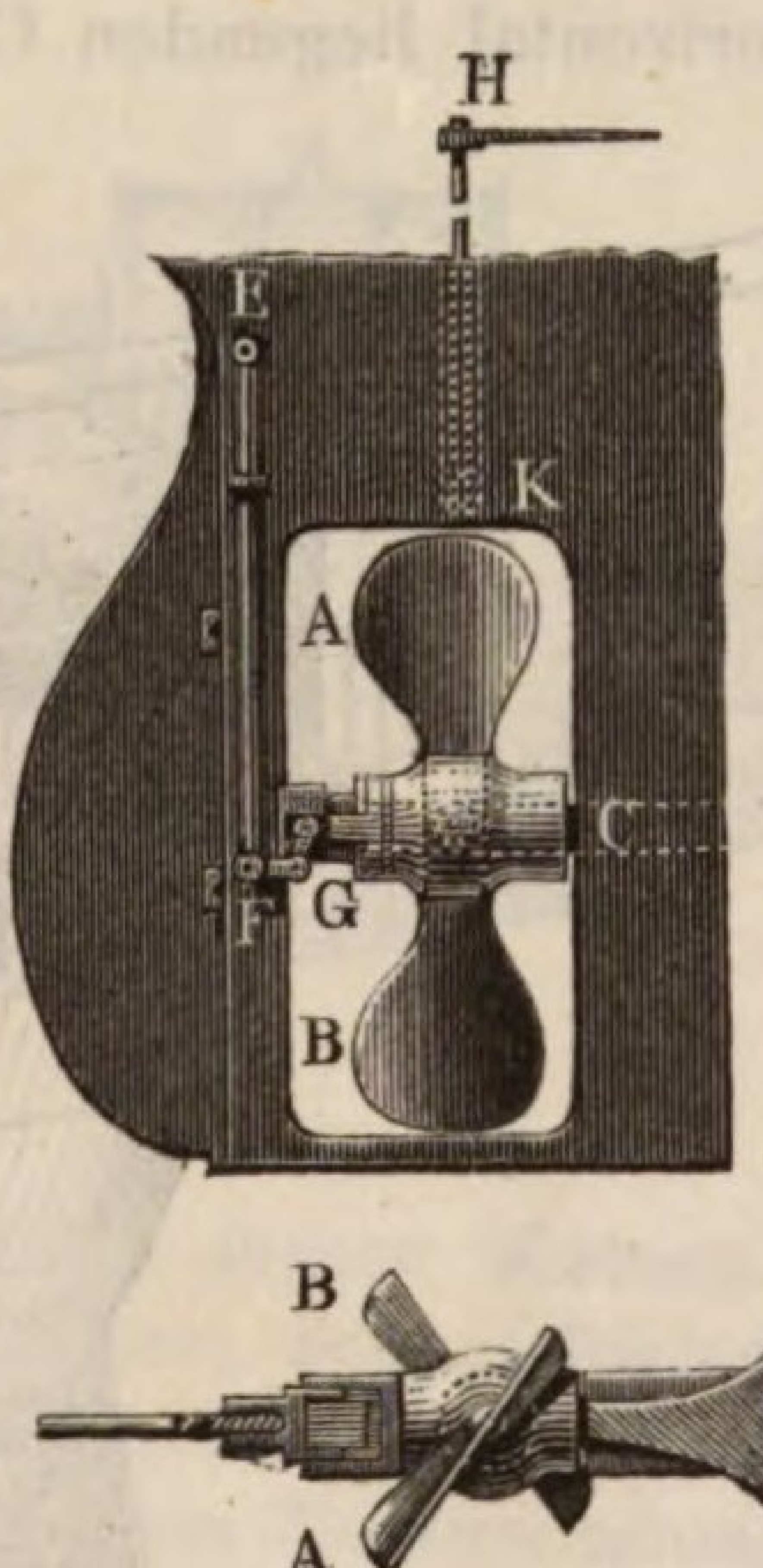


Fig. 183.

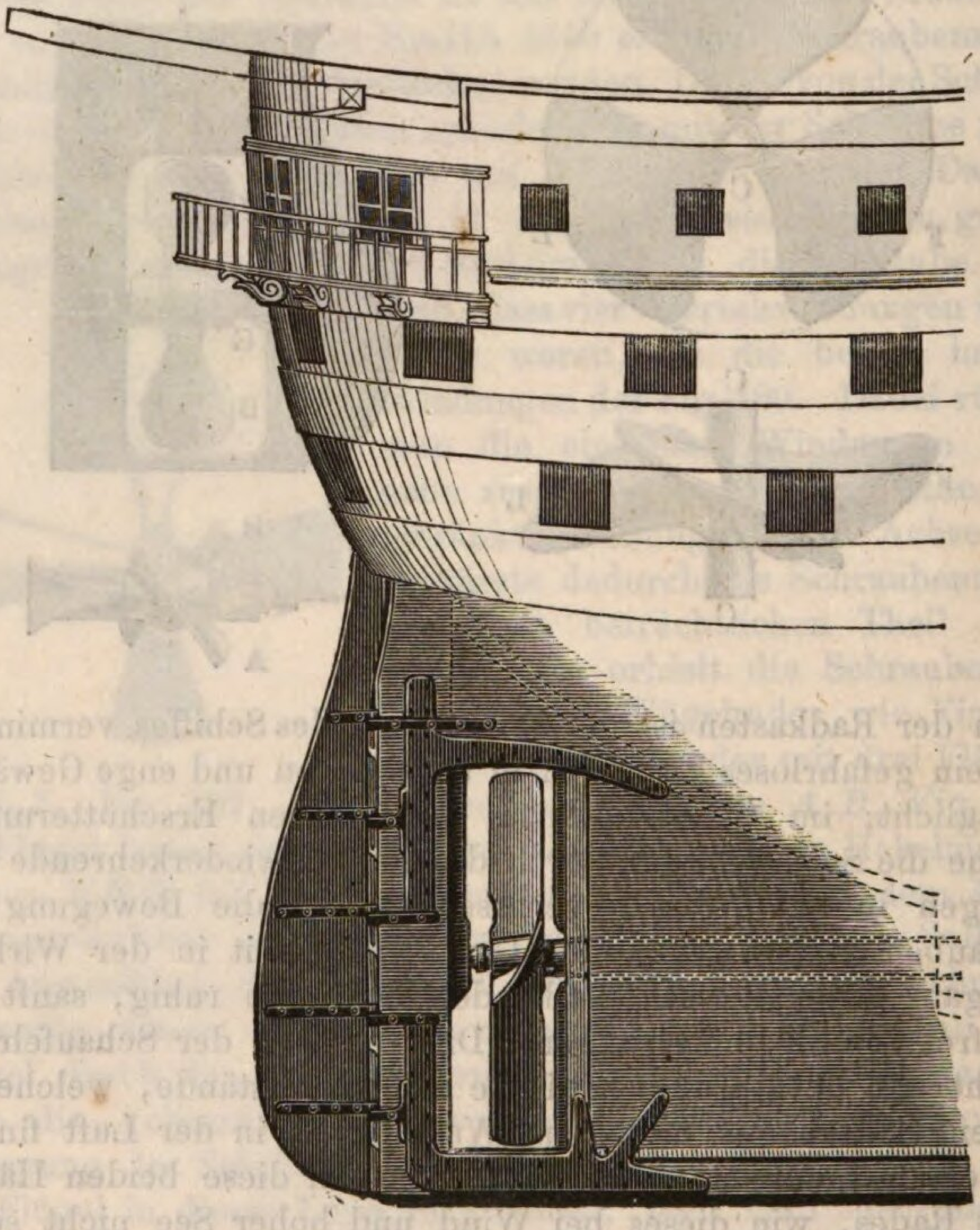


fallen der Radkasten ist der Widerstand des Schiffes vermindert und ein gefahrloses Einlaufen in enge Häfen und enge Gewässer ermöglicht; im Gegensatze zu den starken Erschütterungen, welche die Schaufelräder durch das immer wiederkehrende Einschlagen in das Wasser verursachen, ist die Bewegung des Schraubenschiffes wegen der Continuirlichkeit in der Wirkung der ganz unter Wasser bleibenden Schraube ruhig, sanft und fast frei von Erschütterungen. Die Wirkung der Schaufelräder beruht auf dem Unterschiede der Widerstände, welche die beiden Hälften des Rades im Wasser und in der Luft finden; sie verschwindet daher vollständig, wenn diese beiden Hälften eines Rades, wie dieses bei Wind und hoher See nicht selten geschieht, gleichzeitig in demselben Medium (Luft oder Wasser) sich befinden. Bei der Schraube kommen diese Ungleichheiten nicht vor, weil sie stets, auch bei den stärksten Wellenbewegungen, ganz im Wasser liegt und daher immer mit gleichbleibender Kraft arbeitet. Endlich eignet sich die Schraube ganz besonders zu Kriegsschiffen, einmal, weil sie und ihre tief liegende Dampfmaschine nicht, wie die Schaufelräder eines Raddampfers, fortwährend den feindlichen Kugeln ausgesetzt

sind, dann aber auch, weil sie in Folge der Lage der Schraube in sehr engen Bögen wenden und diese Wendungen in wenigen Minuten vollbringen können.

Die Schraube wird am einfachsten durch Dampfmaschinen mit horizontal liegenden Cylindern umgedreht, deren Kolben-

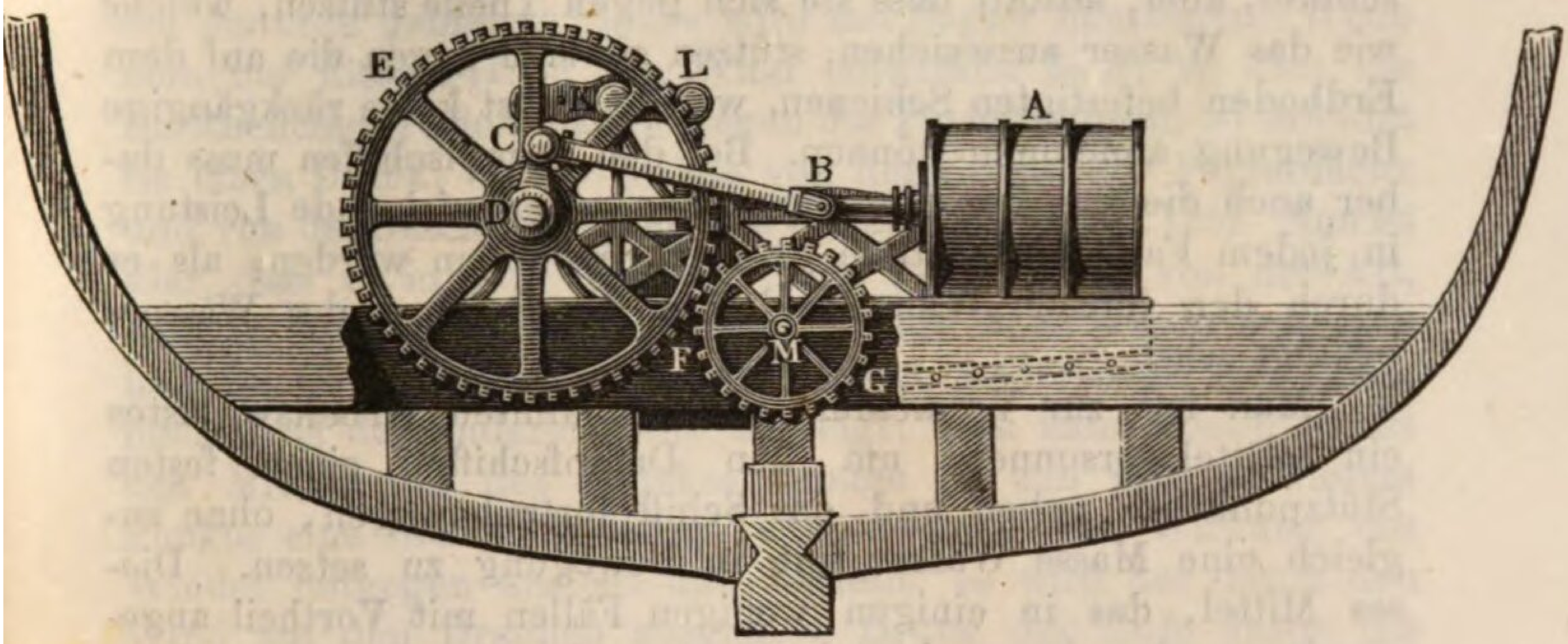
Fig. 184.



stangen direct auf die Kurbel der Schraubenwelle wirken. In anderen Fällen aber erweist es sich als vortheilhaft, die Dampfmaschine nicht unmittelbar auf die Schraubenwelle wirken zu lassen, sondern wie in Fig. 185 ein Zahn- oder Riemenradvorgelege anzuwenden, wodurch es möglich wird, der Schraubenwelle in derselben Zeit zwei- bis dreimal so viele Umdrehungen zu geben als der Kurbelwelle. *A* ist der Dampfcylinder, *BC* die Kolbenstange, *CD* die Kurbel; auf der Kurbelwelle *D* sitzt

das Zahnrad EF, und dieses greift in das kleinere Zahnrad G ein, dessen Welle M die Welle der Schraube bildet.

Fig. 185.



Bewegung eines Schiffes mittelst fester Ketten. Bei 131
der Bewegung eines Schiffes durch Ruder, Schaufelräder oder Schrauben ist man genöthigt, eine viel grössere Arbeit zu entwickeln und aufzuwenden, als zur blossen Ueberwindung des Widerstandes des Wassers eigentlich erforderlich ist. Indem nämlich die genannten Theile den zur Fortbewegung des Schiffes nöthigen Druck aufnehmen, setzen sie zugleich eine bestimmte Menge Wasser in einer Richtung, welche dem Laufe des Schiffes entgegengesetzt ist, in Bewegung. Zu der Verdrängung und der Bewegung einer Wassermasse ist aber eine gewisse Arbeit erforderlich, und da diese Arbeit der Maschinenkraft nutzlos entzogen wird, so muss die Maschine zur Fortbewegung des Schiffes eine viel grössere Arbeit aufwenden, als zur blossen Ueberwindung des Widerstandes erforderlich ist.

Die Ursache dieses Arbeitsverlustes liegt bloss in dem Umstande, dass man, um das Schiff von der Stelle zu bringen, nicht einen festen, sondern einen im Wasser selbst liegenden beweglichen Stützpunkt nehmen muss. Könnte man die Schraube, das Ruder oder das Schaufelrad sich gegen Körper stützen lassen, welche auf dem Flussbette fest sind, so würden diese Körper dem Drucke, der auf sie ausgeübt wird, nicht ausweichen und keine Bewegung annehmen, daher auch nichts von derjenigen Arbeitsleistung verzehren, welche von der treibenden Kraft, der Muskelkraft des Ruderers oder der Dampfkraft entwickelt wird.

Es träte dann ganz dasselbe ein, was bei der Fortbewegung eines Zuges durch die Locomotive geschieht. Die Räder einer Locomotive wirken ganz genau so, wie die Schaufelräder eines Dampfschiffes, aber, anstatt dass sie sich gegen Theile stützen, welche wie das Wasser ausweichen, stützen sie sich gegen die auf dem Erdboden befestigten Schienen, welche selbst keine rückgängige Bewegung annehmen können. Bei den Dampfschiffen muss daher auch die von der Dampfmaschine zu entwickelnde Leistung in jedem Falle beträchtlich grösser genommen werden, als es durch den blossen Widerstand und die Reibung des Wassers bedingt wird.

Man hat zur Vermeidung des genannten Arbeitsverlustes ein Mittel ersonnen, um den Dampfschiffen einen festen Stützpunkt zu geben und das Schiff fortzubewegen, ohne zugleich eine Masse Wasser mit in Bewegung zu setzen. Dieses Mittel, das in einigen wenigen Fällen mit Vortheil angewandt werden kann, besteht darin, dass man der ganzen Strecke entlang, welche das Schiff durchlaufen muss, auf dem Flussbette eine starke Kette auslegt und dieselbe an den beiden Enden gehörig befestigt. Die Kette geht durch die ganze Länge des Schiffes hindurch und umschlingt im Innern desselben eine Trommel oder eine Rolle derart, dass sie nicht über den Umfang derselben gleiten kann. Die Dampfmaschine des Schiffes hat dann nichts weiter zu thun, als diese Trommel rund zu drehen, so dass diese das Bestreben äussert, die Kette aufzuwinden. Durch die Umdrehung der Trommel würde die Kette auch wirklich aufgewickelt werden, wenn sie nicht an beiden Enden befestigt wäre; da nun die Kette dem Zuge der Trommel nicht nachgeben kann, so folgt die bewegliche Trommel und rollt auf der Kette weiter; mit der Trommel geht dann auch das Schiff, auf welchem sie befestigt ist, vorwärts. In Paris giebt es mehrere Dampfschiffe, welche in dieser Art wirken und dazu verwendet werden, andere Schiffe die Seine hinauf zu schleppen.

Es versteht sich von selbst, dass in den Fällen, wo Schiffe durch Menschen oder Pferde, die am Ufer den Leinpfad entlang gehen, fortgezogen werden, ein Arbeitsverlust der genannten Art ebenfalls nicht entsteht.

132 **Der Papierdrachen.** Ein Jeder kennt den Papierdrachen, ein Spielzeug der Kinder, welches man durch den Wind in die Höhe steigen lässt. Es ist nicht schwer zu erkennen, in wel-

cher Weise das Steigen des Drachen und das Verweilen in den oberen Regionen der Luft zu Stande kommt. Der Drachen besteht aus zwei rechtwinkelig sich kreuzenden leichten Stäben; die Enden derselben werden mit einer Schnur überspannt und die dadurch gebildete Fläche wird mit Papier überzogen. Wenn man auf diese Fläche den Wind einwirken lässt, so dass die Lufttheilchen rechtwinkelig gegen das Papier stossen, so erleidet sie einen Druck, dessen Grösse von der Grösse der Papierfläche und von der Geschwindigkeit des Windes abhängt (§. 125). Nun ist klar, dass es in dem Drachen einen Punkt giebt von der Art, dass er, wenn man ihn in diesem Punkte dem Winde entgegen hält, im Gleichgewichte bleibt und sich weder nach der einen, noch nach der anderen Seite hinneigt; man kann diesen Punkt den Mittelpunkt des Druckes nennen. Wenn man in diesem Punkte eine Schnur befestigt und dieselbe der Wirkung des Windes entgegen anzieht und festhält, so wird der durch den Wind auf den Drachen ausgeübte Druck der Luft durch die Spannung der Schnur aufgehoben. Anders aber ist es, wenn man die Schnur in einem Punkte des Drachen befestigt, der höher als der genannte Mittelpunkt des Druckes liegt; die Spannung der Schnur kann dann den Druck des Windes nicht mehr aufheben. Da in diesem Falle der Winddruck das Bestreben hat, den unteren Theil des Drachen zu heben, so nimmt dieser eine geneigte Lage an und sucht sich horizontal zu stellen. Andererseits aber wirkt diesem Streben nach der horizontalen Lage das Gewicht des Drachen und besonders das Gewicht des an seinem unteren Ende befestigten Schweifes entgegen; eben hierdurch wird die schiefe Stellung des Drachen dauernd erhalten, so dass der auf die Papierfläche wirkende Druck der Luft gegen diese Fläche geneigt ist und sich in zwei Seitenkräfte zerlegt, von denen die eine die Richtung von unten nach oben hat und den Drachen in die Höhe treibt, sobald sie das Uebergewicht hat über die Resultirende aus dem Gewichte des Drachen und der Spannung des Fadens.

Luftschifffahrt. Seit der Erfindung des Luftballons (§. 75) 133
hat man sich vielfach mit dem Gedanken beschäftigt, denselben zu regelmässigen Luftreisen zu benutzen. Es tritt dabei offenbar die Hauptfrage entgegen, ob es möglich sein wird, den Luftballon zu steuern und ihm nach Belieben die eine oder die andere Richtung zu geben. Gehen wir auf diesen Gegenstand näher ein, so wird es uns nicht schwer sein anzugeben, bis zu

welchem Punkte man auf eine genügende Lösung dieses Problems rechnen darf.

Stellen wir uns vor, dass ein Luftballon in irgend einer Luftschicht im Gleichgewicht und die Luft selbst vollkommen in Ruhe sei. Wird es nun möglich sein, durch irgend eine an dem Ballon angebrachte Vorrichtung denselben in einer beliebigen Richtung fortzubewegen? Diese Frage ist leicht zu beantworten. Zunächst ist klar, dass, wenn es möglich ist, den Ballon in irgend einer Richtung fortzubewegen, dieses ebenso gut in jeder anderen Richtung möglich sein muss, weil wir angenommen haben, dass die Luft vollkommen ruhig sei; es ist dazu nur nöthig, dass man in ähnlicher Art, wie bei den Schiffen, ein Steuerruder anbringe und dieses, nachdem einmal die Bewegung des Ballons eingeleitet worden ist, in der geeigneten Richtung drehe. Wir haben also nur noch zu untersuchen, ob es überhaupt möglich ist, den Ballon in der ruhigen Luft von der Stelle zu bewegen. Es ist dieses gar nicht zweifelhaft, denn man braucht denselben nur mit einer Vorrichtung zu versehen, welche den Flügeln der Vögel nachgebildet ist, und hat dann diese Art Flügel nur in derselben Weise zu bewegen, wie dieses bei den Vögeln geschieht. Mechanismen dieser Art würden bei ihrer hin- und hergehenden Bewegung bald eine grosse Fläche der Luft darbieten, sich dagegen stützen und sich heben, bald aber sich zusammenlegen und der Luft nur eine Kante darbieten, so dass damit der Ballon ohne Zweifel von der Stelle bewegt werden könnte. Anstatt dieser breiten ruderähnlichen Flächen könnte man sich auch, wie bei den Schiffen, der Schraube bedienen. Wenn man aber bedenkt, dass der Luftballon eine sehr bedeutende Grösse haben muss, wenn darin einige Personen aufsteigen sollen, und dass ein solcher Ballon wegen seines grossen Querschnittes einen sehr bedeutenden Luftwiderstand zu erleiden hat, so wird man sich leicht überzeugen, dass, wie auch die Bewegungsvorrichtungen beschaffen sein mögen, die Geschwindigkeit des Luftschiffes doch nur sehr klein sein wird, wenn man es durch die Reisenden selbst in Bewegung setzt. Man könnte zwar auf den Gedanken kommen, mit dem Ballon einen anderen Motor, z. B. eine Dampfmaschine, zu verbinden. Aber indem man damit eine grössere Kraft zur Fortbewegung des Luftschiffes gewinnt, vergrössert man dadurch zugleich die Belastung des Fahrzeuges; um aber diese grössere Last zum Steigen zu bringen, muss das Volumen des Ballons bedeutend vergrössert werden, und dieses hat wieder, wenn man dieselbe

Geschwindigkeit erzielen will, eine starke Vergrösserung des Luftwiderstandes zur Folge.

Aus Allem geht hervor, dass bei jeder Art von Bewegungsmechanismen die Geschwindigkeit, die man dem Luftschiffe inmitten einer ruhigen Luft geben könnte, immer sehr klein sein wird. Dürfte man auch hoffen, in Zukunft die Ballons viel grösser zu machen, als dieses bisher der Fall gewesen ist, und einen Bewegungsapparat zu erfinden, der die Kraft der Reisenden zu ersetzen geeignet wäre, so müsste derselbe jedenfalls sehr viel Raum einnehmen und ungemein leicht sein; in diesem Falle aber würde der Apparat nicht bloss sehr schwer in Bewegung zu setzen sein, sondern er würde auch leicht beschädigt werden können, und daher zu regelmässigen Fahrten nicht geeignet sein.

Prüfen wir nun den Fall näher, wenn man einen Luftballon durch eine in Bewegung befindliche Luftschicht fortzubewegen sucht. Der Ballon wird eine absolute Geschwindigkeit annehmen, welche die Resultirende ist aus seiner eigenen relativen Geschwindigkeit und der Geschwindigkeit der Luft. Um nun den Ballon in jeder beliebigen Richtung fortbewegen zu können, ist vor Allem erforderlich, dass seine eigene Geschwindigkeit nicht zu klein sei im Verhältniss zu der Geschwindigkeit der umgebenden Luft; in dem Falle z. B., wo der Ballon sich der herrschenden Luftströmung gerade entgegen bewegen soll, muss seine relative Geschwindigkeit jedenfalls grösser sein, als die der Luft. Man sieht hieraus, dass man nur dann ein Luftschiff in jeder beliebigen Richtung fortbewegen kann, wenn die Luft selbst entweder völlig ruhig ist oder doch nur eine geringe Geschwindigkeit besitzt. Nach den Erfahrungen der Luftschiffer aber trifft man nur selten auf eine Luftschicht von geringer Geschwindigkeit; in den meisten Fällen wird ein Ballon in weniger als einer Stunde viele Meilen weit fortgetrieben. Hiernach kommt man zu dem Schlusse, dass das Problem der Luftschifffahrt nur für sehr wenige, selten eintretende atmosphärische Verhältnisse Aussicht auf praktischen Erfolg hat; in den meisten Fällen wird ein mit einem Fortbewegungsapparat versehener Ballon gar nicht einmal gegen die herrschende Luftströmung erfolgreich ankämpfen können.

Vergleicht man die gewöhnliche Schifffahrt mit der Luftschifffahrt, so ergiebt sich, dass die durch Ruder, Räder oder Schrauben bewegten Schiffe das ruhige Wasser in allen Richtungen befahren, und auch im fliessenden Wasser leicht gelenkt

und fortbewegt werden können, vorausgesetzt, dass die Geschwindigkeit des Wassers eine gewisse Gränze nicht überschreitet. Dasselbe gilt auch für den Luftballon, der mit irgend einem Bewegungsmechanismus versehen ist; er lässt sich nach allen erdenklichen Richtungen fortbewegen, wenn die ihn umgebende Luft entweder ganz ruhig ist, oder nur mit einer geringen Geschwindigkeit sich von der Stelle bewegt. Der Unterschied besteht aber darin, dass in den meisten Fällen das fliessende Wasser eine weit kleinere Geschwindigkeit besitzt, als diejenige ist, mit welcher das Schiff stromaufwärts fahren kann, wogegen die Luftströme meist viel zu stark sind, als dass man hoffen dürfte, durch einen Ballon und seinen Bewegungsapparat siegreich dagegen ankämpfen zu können. In den meisten Fällen befindet sich ein Ballon in dem Luftmeere in derselben Lage, wie ein Dampfschiff, welches einen reissenden Bergstrom hinauffahren soll.

5. Maschinen zum Heben des Wassers.

134 Um grössere Mengen einer Flüssigkeit, namentlich des Wassers, von einer Stelle auf die andere zu fördern, wendet man besondere Vorrichtungen an, die man im Allgemeinen Wasserförderungsmaschinen nennt. Man hat eine grosse Anzahl solcher Vorrichtungen, die je nach dem Zwecke, für welchen sie bestimmt sind, grosse Verschiedenheiten darbieten; bald muss das Wasser aus mehr oder weniger grossen Tiefen geschöpft werden, um diese trocken halten und darin arbeiten zu können, z. B. bei gewissen Fundamentirungsarbeiten, in den Bergwerken, bei Entwässerung von Niederungen u. s. w.; bald soll dasselbe aus einem Flusse auf eine kleine Höhe gehoben werden, wie bei der Bewässerung von Wiesen und beim Herbeischaffen von Wasser für besondere ökonomische und industrielle Zwecke; oder das Wasser muss zu ähnlichen technischen Arbeiten aus besonderen Brunnen geschöpft und auf gewisse Höhen hinaufgeschafft werden, u. s. w. Ueber alle diese Maschinen lassen sich zunächst folgende allgemeine Grundsätze, welche für die Construction derselben leitend sind, aufstellen.

Die Arbeit, welche erforderlich ist, um eine bestimmte Menge Wasser auf eine bestimmte Höhe zu heben, erhält man in allen Fällen, wenn man das in Pfunden ausgedrückte Gewicht des Wassers mit der in Fuss ausgedrückten Höhe, auf welche

es gehoben werden soll, multiplicirt. Das Product giebt die Arbeit in Fusspfund an, welche von der Förderungsmaschine entwickelt werden muss, um den beabsichtigten Zweck des Wasserhebens zu erreichen, immer vorausgesetzt, dass während der Thätigkeit der Maschine gar kein Arbeitsverlust eintrete. In der Wirklichkeit aber muss die ganze Bewegungsarbeit der Maschine immer grösser sein, als die Nutzarbeit, die sie zu leisten hat, weil es unmöglich ist, jeden Verlust an Arbeit zu vermeiden. Dieser Verlust an Arbeit rührt her: 1. von der Reibung der festen Theile der Maschine an einander; 2. von den Stössen, welche zwischen diesen festen Theilen entstehen; 3. von der Reibung des Wassers gegen die Wände, zwischen welchen es sich bewegt; 4. von der plötzlichen Aenderung in der Grösse oder in der Richtung der Geschwindigkeit des Wassers; 5. endlich von der Geschwindigkeit, welche das Wasser noch besitzt, wenn es auf die verlangte Höhe angekommen ist, eine Geschwindigkeit, die der Flüssigkeit nur auf Kosten der Bewegungsarbeit der Maschine ganz nutzlos mitgetheilt worden ist. Wenn man daher eine Wasserförderungsmaschine aufstellen will, so muss man stets auf diese Ursachen, die einen Verlust an Arbeit herbeiführen, Rücksicht nehmen, und die geeigneten Mittel anwenden, sie zu vermeiden.

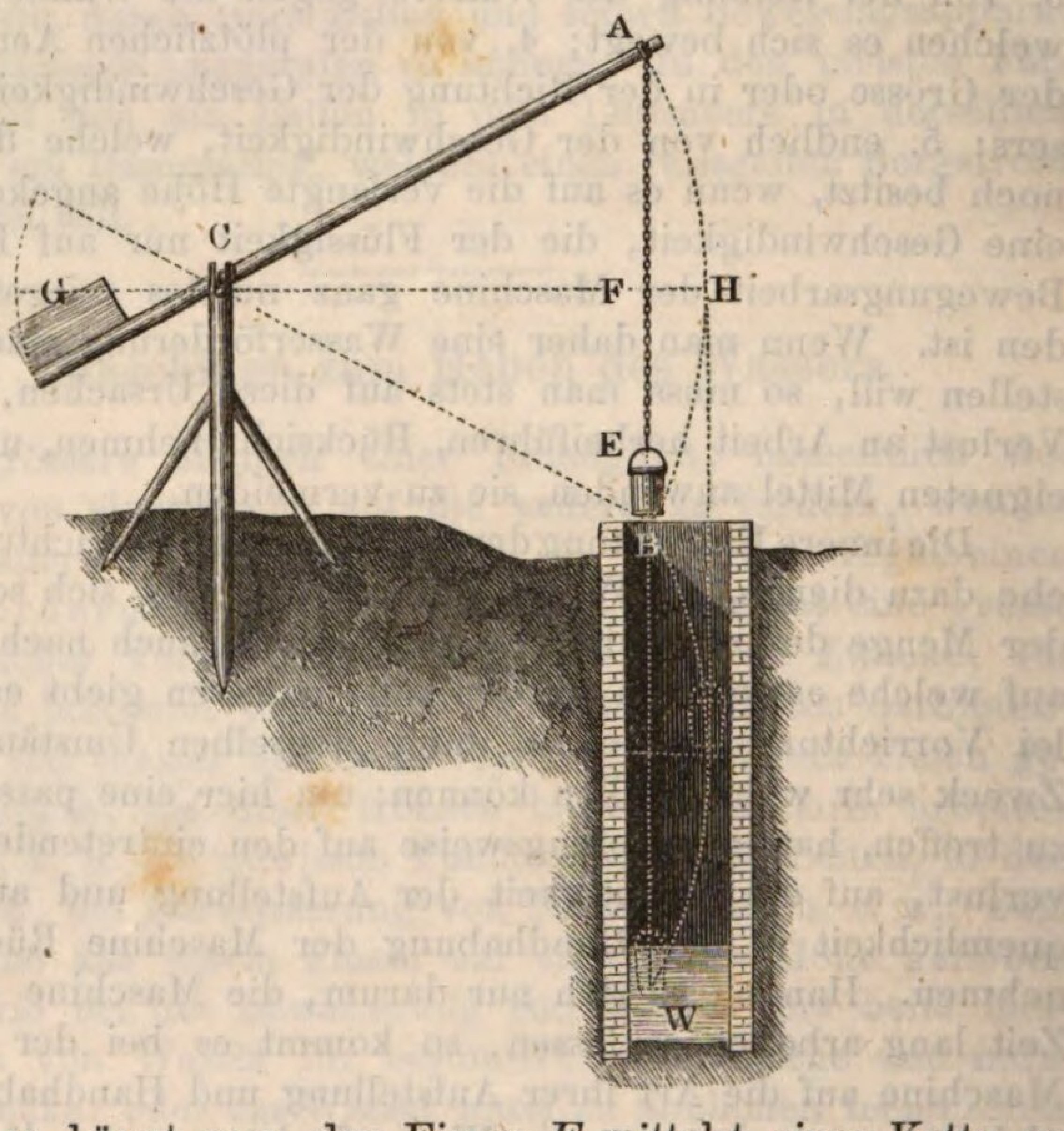
Die innere Einrichtung der verschiedenen Vorrichtungen, welche dazu dienen, das Wasser zu fördern, richtet sich sowohl nach der Menge des zu fördernden Wassers, als auch nach der Höhe, auf welche es gehoben werden soll; indessen giebt es mancherlei Vorrichtungen, welche unter denselben Umständen ihren Zweck sehr wohl erfüllen können; um hier eine passende Wahl zu treffen, hat man vorzugsweise auf den eintretenden Arbeitsverlust, auf die Leichtigkeit der Aufstellung und auf die Bequemlichkeit in der Handhabung der Maschine Rücksicht zu nehmen. Handelt es sich nur darum, die Maschine eine kurze Zeit lang arbeiten zu lassen, so kommt es bei der Wahl der Maschine auf die Art ihrer Aufstellung und Handhabung nicht viel an; wenn dagegen die Wasserförderung eine längere Zeit hindurch fortgesetzt werden soll, so ist vor Allem darauf Rücksicht zu nehmen, dass der Verlust an nutzbarer Arbeit so sehr als möglich vermieden werde, und dass diejenige Maschine gewählt werde, welche den grössten Nutzeffect giebt.

Eimer-Ziehbrunnen bestehen in der Anwendung eines 135
Handeimers von circa $\frac{1}{3}$ Kubikfuss, den ein Mann etwa 3 bis

4 Fuss hoch hebt, und der, wenn das Wasser höher gehoben werden soll, von einem anderen höher stehenden Arbeiter in Empfang genommen wird. Soll ein einzelner Arbeiter einen mit Wasser gefüllten Eimer höher als 4 Fuss heben, so versieht man den Eimer mit einem Stiel, der dann als Hebel wirkt; der Eimer darf jedoch in diesem Falle nicht denselben Inhalt haben, wie wenn derselbe nur auf eine kleine Höhe gehoben wird.

Wenn dagegen das Wasser auf grössere Höhen von 12 bis 20 Fuss, z. B. aus einem Brunnen *W*, Fig. 186, gehoben wer-

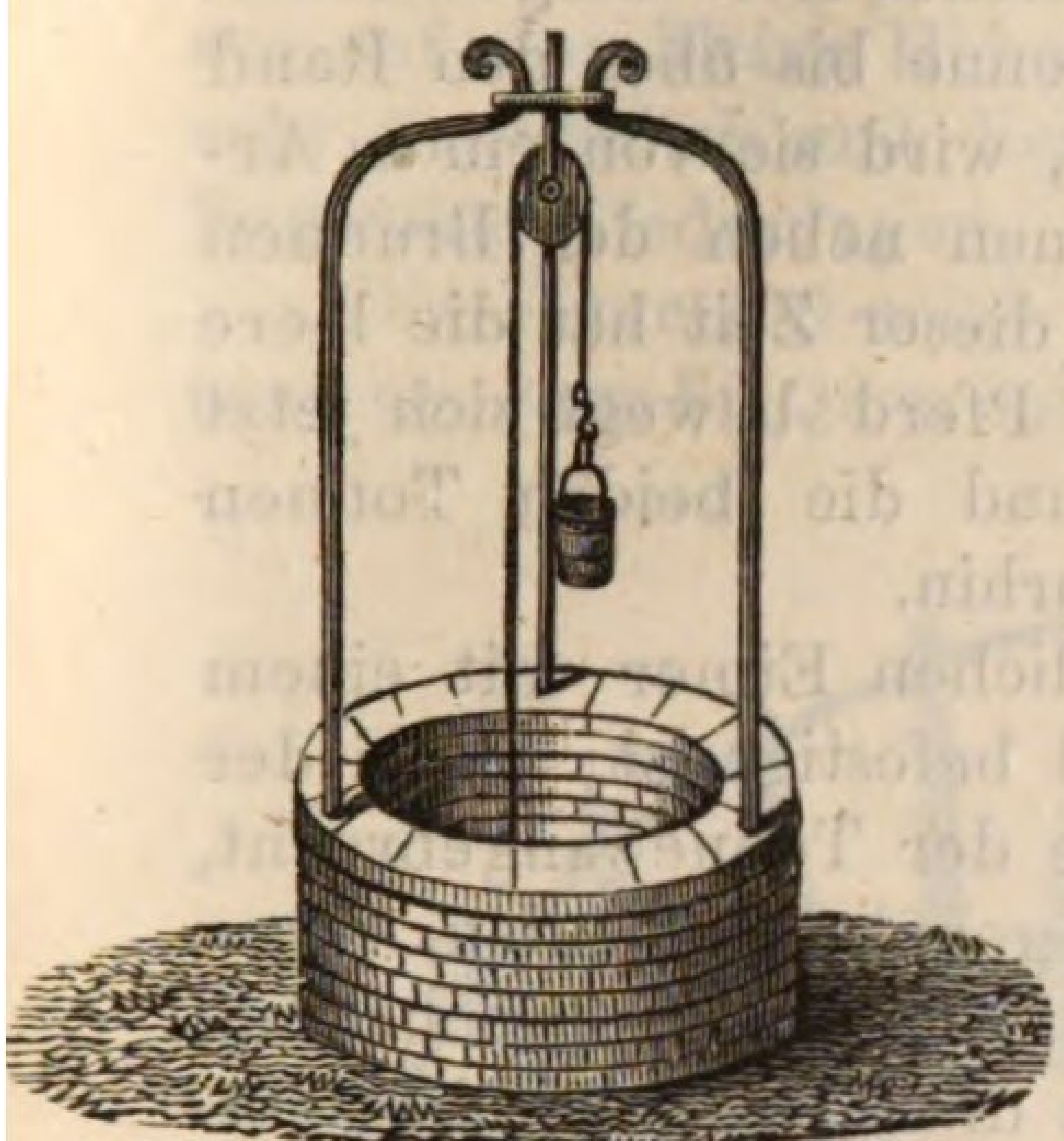
Fig. 186



den soll, so hängt man den Eimer *E* mittelst einer Kette an einen sogenannten Schwengel *ACG*, der in *C* seinen Drehpunkt und am Ende *G* ein Gegengewicht hat, welches mit dem Eimer bei halber Füllung im Gleichgewicht steht. In diesem Falle erfordert das Heben des ganz gefüllten Eimers dieselbe Kraft, wie das Niederziehen des Schwengels mit dem leeren Eimer. Die Sehne *AB* des von dem Aufhängepunkte *A* des Eimers durchlaufenen Bogens muss mindestens so gross sein

als die Brunnentiefe; auch ist klar, dass die Brunnenweite um die Weite des Eimers grösser sein muss als die Bogenhöhe *FH*.

Fig. 187.

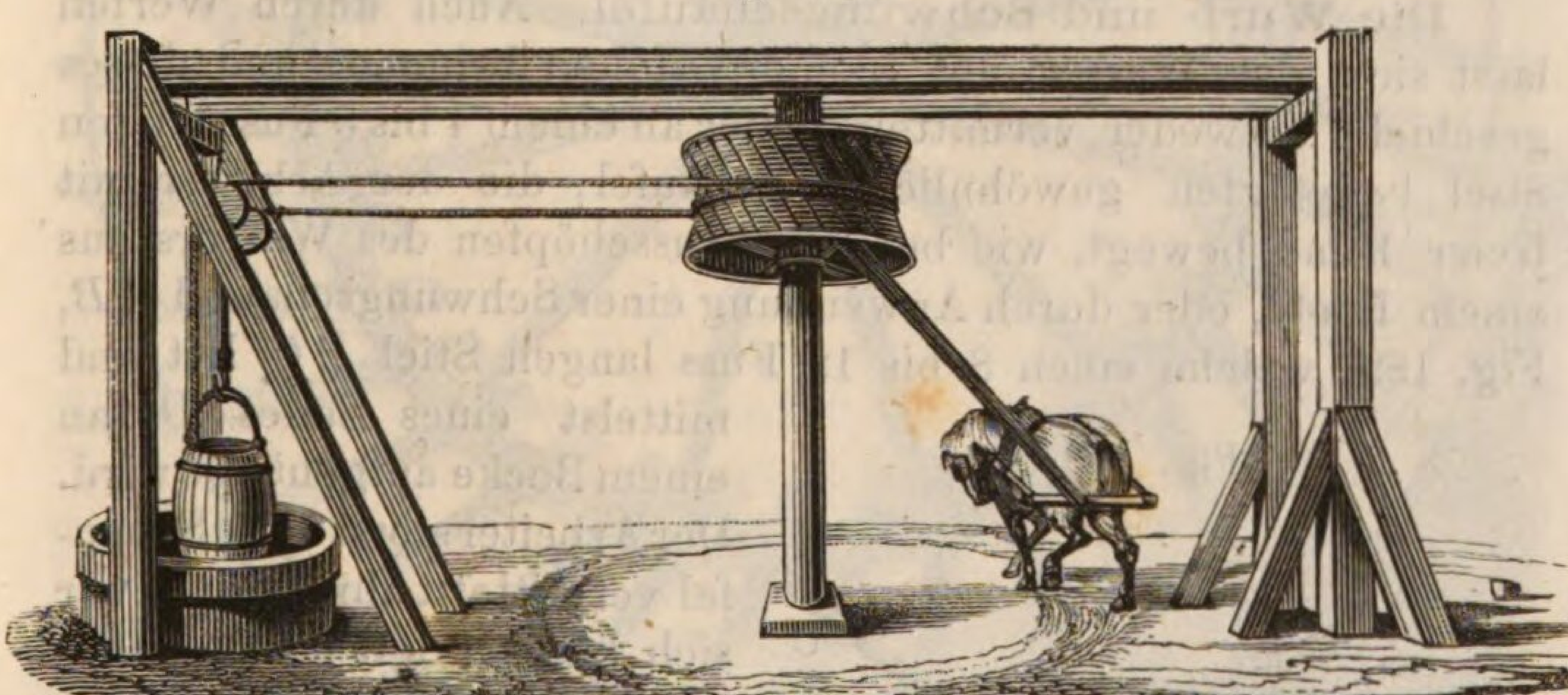


Wenn der Brunnen eine noch grössere Tiefe hat, so wendet man eine einfache feste Leitrolle, Fig. 187, oder einen gewöhnlichen Haspel an, wobei man meist an jedes Ende des über die Rolle oder den Haspel geschlungenen Seiles einen Eimer anhängt.

Brunnengöpel. Wenn man grös- 136
sere Wassermassen aus dem Brunnen zu schöpfen hat, so ersetzt man die Eimer durch Tonnen und die Menschenkraft durch die Kraft der Pferde oder des Dampfes.

Als Beispiel hierzu führen wir die Brunnengöpel, Fig. 188, an, welche man in der Umgegend von Paris sehr häufig an-

Fig. 188.



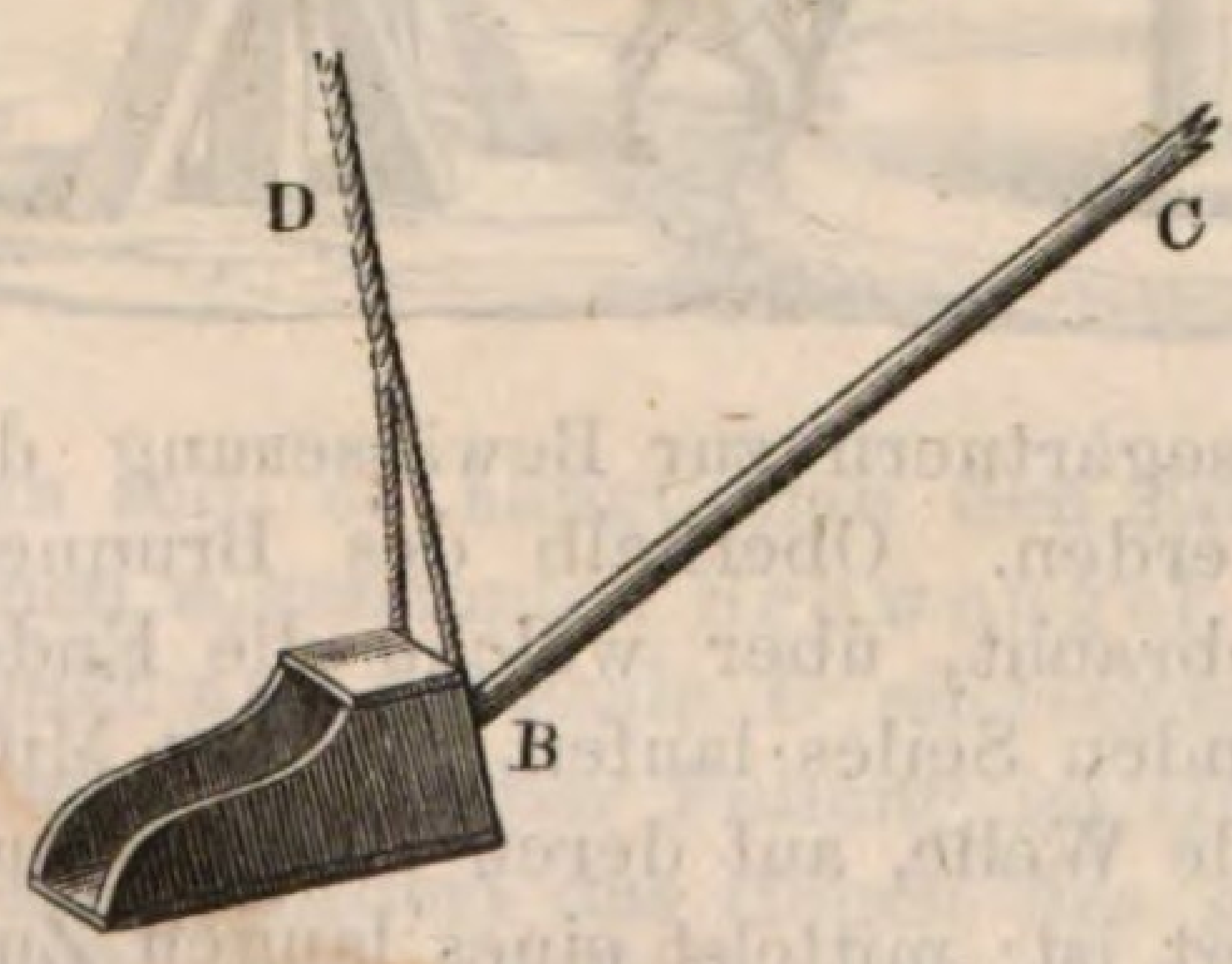
trifft und die von den Gemüsegärtnern zur Bewässerung der Gärten und Felder benutzt werden. Oberhalb des Brunnens sind zwei feste Leitrollen angebracht, über welche die Enden eines die beiden Tonnen haltenden Seiles laufen. In der Mitte des Gerüstes steht eine verticale Welle, auf deren oberem Ende eine Trommel (Seilkorb) befestigt ist; mittelst eines langen Zugbaumes, an welchem ein Pferd wirkt, lässt sich die Welle mit der Trommel wie ein Göpel (I. §. 233) rund drehen. Das Seil, an dessen Enden die Tonnen angehängt sind, ist zwei- oder dreimal um

die Trommel geschlungen, so dass bei der Drehung derselben nach einer bestimmten Richtung das eine Seilstück sich abwickelt, das andere dagegen zu gleicher Zeit aufgewunden wird. Wenn das Pferd die gefüllte Tonne bis über den Rand des Brunnens in die Höhe gezogen hat, wird sie von einem Arbeiter ergriffen, umgestürzt und in einen neben den Brunnen stehenden Behälter entleert; während dieser Zeit hat die leere Tonne Zeit gehabt, sich zu füllen; das Pferd bewegt sich jetzt in der entgegengesetzten Richtung und die beiden Tonnen machen den umgekehrten Weg, wie vorhin.

Die Tonnen sind wie die gewöhnlichen Eimer mit einem Henkel versehen, an welchem das Seil befestigt ist; allein der Henkel ist nicht an dem oberen Rande der Tonne angebracht, sondern diese ist mit zwei diametral gegenüberstehenden, etwas über ihrer Mitte angebrachten Zapfen in die entsprechenden Oesen des Henkels eingehängt, so dass dieselbe nicht bloss stabil aufgehängt und gegen grössere Schwankungen gesichert ist, sondern auch, weil ihr Schwerpunkt sehr nahe bei der Drehachse liegt, sich sehr leicht beim Entleeren umstürzen lässt.

137 **Die Wurf- und Schwungschaufel.** Auch durch Werfen lässt sich das Wasser auf kleinere Höhen bringen, und dieses geschieht entweder vermittelst einer an einem 4 bis 5 Fuss langen Stiel befestigten gewöhnlichen Schaufel, die der Arbeiter mit freier Hand bewegt, wie bei dem Ausschöpfen des Wassers aus einem Boote, oder durch Anwendung einer Schwungschaufel *AB*, Fig. 189, welche einen 8 bis 12 Fuss langen Stiel *BC* hat und mittelst eines Seiles *D* an einem Bocke aufgehängt wird. Der Arbeiter stösst diese Schaufel vermittelst ihres Stiels vor sich hin, schöpft damit ungefähr ½ Kubikfuss Wasser ein und schleudert es 3 Fuss hoch und 6 Fuss weit fort. Häufig stellt man noch dem ersten Arbeiter zwei andere gegenüber, welche mittelst zwei Seilen die Schaufel in dem Augenblicke, wo sie den Stoss des ersten Arbeiters erhält, an sich ziehen und so den Schwung vergrössern.

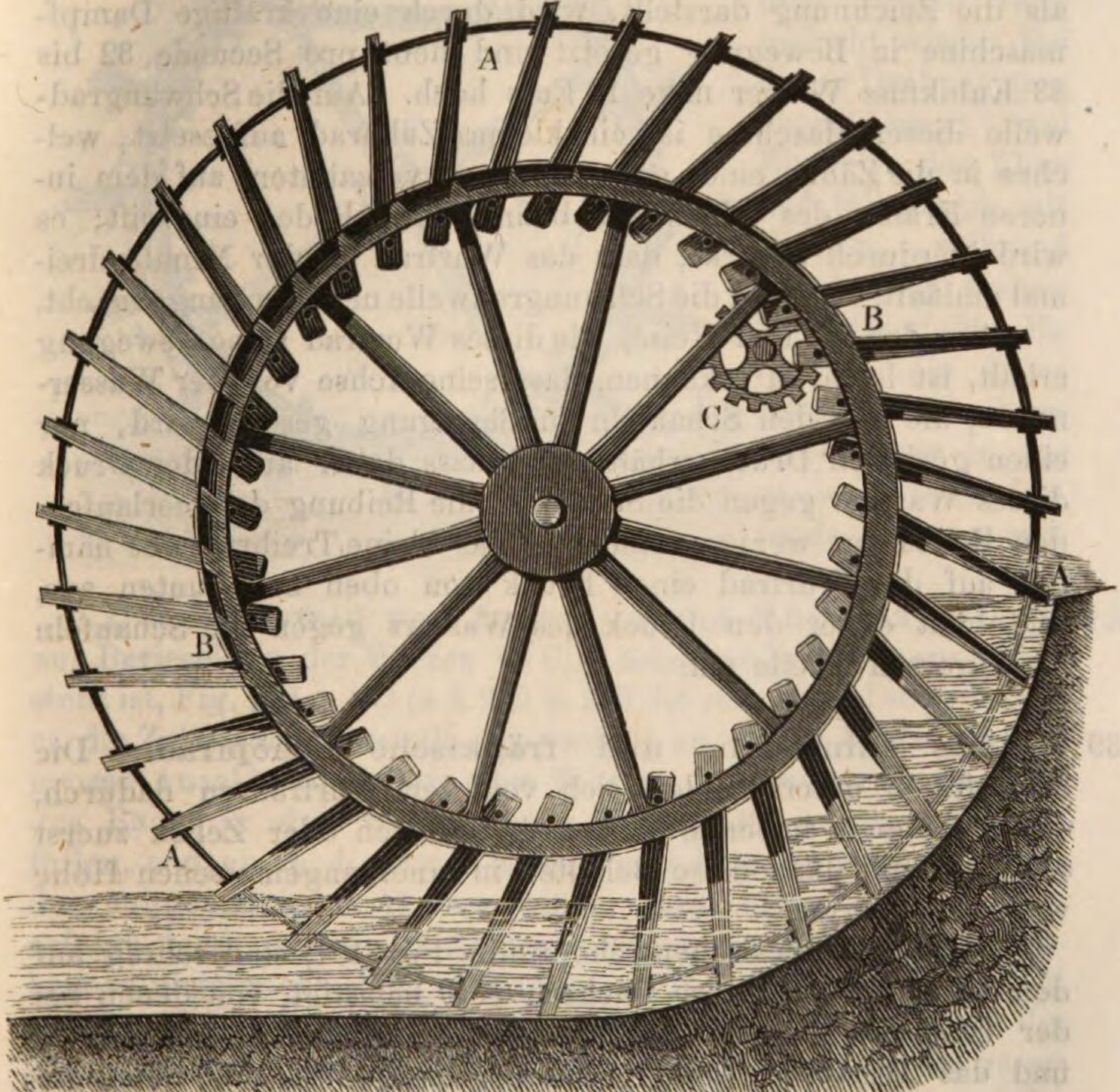
Fig. 189.



Das Wurfrad. Eine Verbindung mehrerer im Kreise gestellter und mit einander zu einem Rade verbundener Schaufeln bildet das Wurfrad, dessen man sich häufig bedient, um Wasser auf eine kleine Höhe zu heben; in Holland sind dieselben sehr gewöhnlich und dienen daselbst zum Entwässern von tiefliegenden Niederungen. 138

Die Figur 190 zeigt ein solches Wurfrad von der Einrichtung wie es zu St. Quen bei Paris angewandt wird, um das Wasser

Fig. 190.



aus der Seine in das den Hafen bildende Bassin zu heben. Der untere Theil des Rades bewegt sich in einem cylindrischen Gange, der von zwei zu beiden Seiten des Rades bis auf eine angemessene Höhe sich erhebenden verticalen Mauern gebildet wird. Die Schaufeln werden demnach an ihrem äusseren Umfange

von diesen Mauern scharf begränzt und sind zwischen ihnen eingeschlossen, so dass das zwischen die Schaufeln gerathende Wasser genöthigt ist, der Bewegung derselben zu folgen und in die Höhe zu steigen. So oft eine Schaufel bei *A* ankommt, fliesst das darüber befindliche Wasser über den Scheitel des cylindrischen Raumes in das tiefer liegende Bassin des Hafens ab. Man giebt den Schaufeln eine gewisse Neigung zu den Radarmen, damit das Wasser bei *A* um so leichter abfliessen kann.

Das Rad, das in der Wirklichkeit etwa 125mal so gross ist als die Zeichnung darstellt, wird durch eine kräftige Dampfmaschine in Bewegung gesetzt und hebt pro Secunde 32 bis 33 Kubikfuss Wasser nahe 13 Fuss hoch. Auf die Schwungradwelle dieser Maschine ist ein kleines Zahnrad aufgesetzt, welches in die Zähne eines grossen, innen verzahnten, auf dem inneren Kranze des Wurfrades befindlichen Rades eingreift; es wird hierdurch bewirkt, dass das Wurfrad in der Minute dreimal umläuft, während die Schwungradwelle neun Umgänge macht.

Aus der Art und Weise, wie dieses Wurfrad seine Bewegung erhält, ist leicht zu erkennen, dass seine Achse von der Wassermasse, die von den Schaufeln in Bewegung gesetzt wird, nur einen geringen Druck erhält, und dass daher auch der Druck dieses Wassers gegen die Schaufeln die Reibung des leerlaufenden Rades nur wenig vermehrt. Das kleine Treibrad übt nämlich auf das Wurfrad einen Druck von oben nach unten aus, und hebt daher den Druck des Wassers gegen die Schaufeln zum grossen Theile auf.

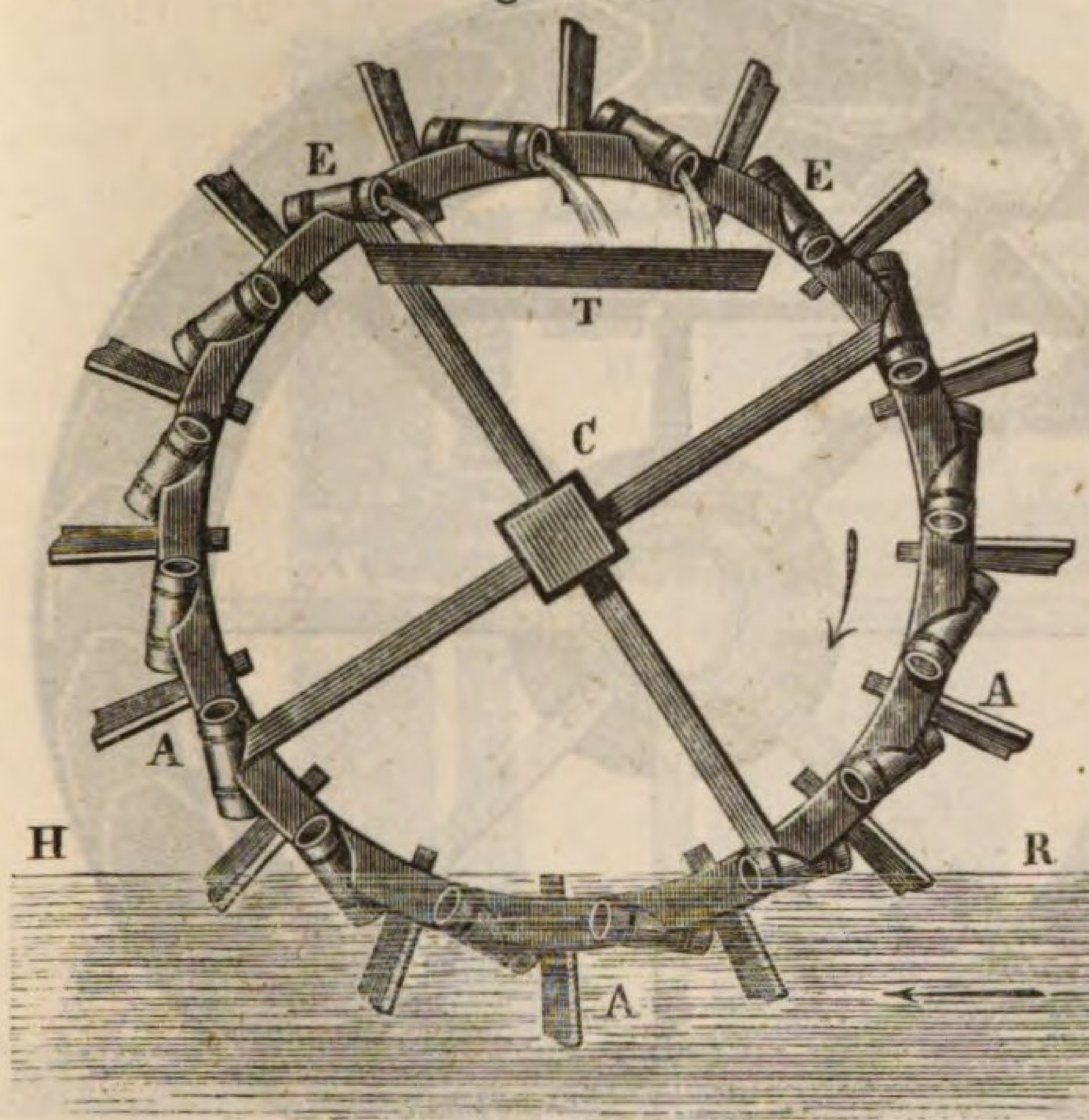
139 **Das chinesische und fränkische Schöpfrad.** Die Schöpfräder unterscheiden sich von den Wurfrädern dadurch, dass sie das zu hebende Wasser in Gefässen oder Zellen zuerst schöpfen und dann diese Behälter in einer angemessenen Höhe wieder entleeren.

Bei dem chinesischen Schöpfrade, Fig. 191, sind schräg auf dem Radkranze mehrere Büchsen *EE* befestigt, von denen bei der Umdrehung des Rades immer einige unter Wasser sind und das Wasser schöpfen, während andere bereits oben angekommene das geschöpfte Wasser in einen Trog *T* wieder ausgiessen. Das Rad erhält seine Bewegung von der Strömung des Wassers, welches in der Richtung des Pfeiles gegen die Schaufeln *AA* andringt und so das Rad rund dreht. In China bestehen die Büchsen *EE* aus Bambusrohr; in Europa, wo dieses Rad ebenfalls angewandt wird, aus Eisenblech

oder aus Brettern, die dann in Form eines Kastens zusammengesetzt sind.

Das fränkische Schöpfrad, wie es an der Regnitz bei Fürth und Erlangen zur Bewässerung der Wiesen angewendet wird, ist, wie das vorige, ein im freien Strome hängendes Rad, welches an seinem Umfange mit Eimern besetzt ist und von dem Strome rund gedreht wird. Bei dieser Drehung tauchen immer zwei Eimer in den Fluss und füllen sich mit Wasser, während gleichzeitig andere bereits gefüllte Eimer in die Höhe steigen und ihren Inhalt oben in das zu den Wiesen führende Gerinne ausgiessen.

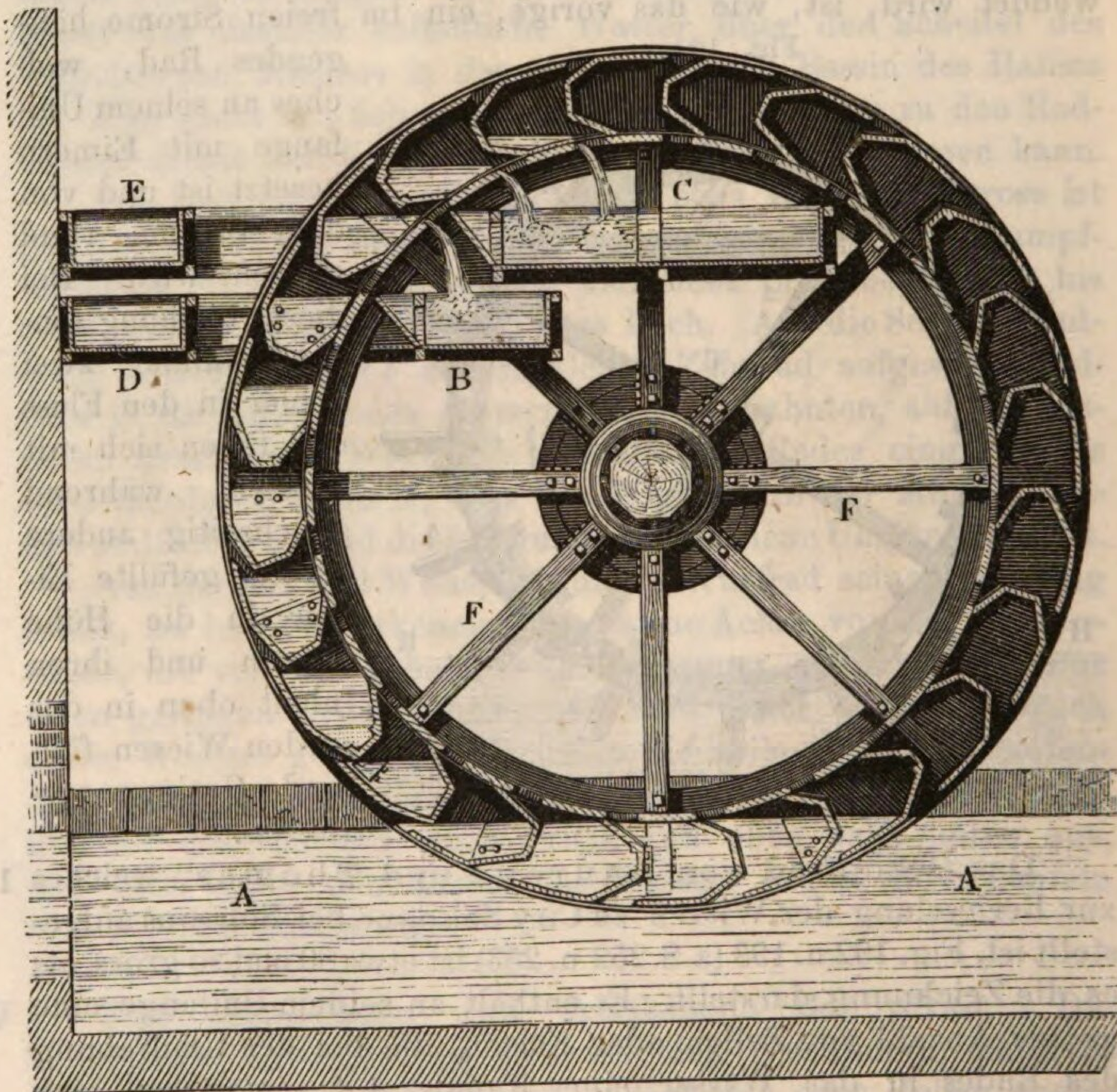
Fig. 191.



Das Schöpfrad von Laurenz und Thomas, welches 140
zur Berieselung der Wiesen zu Ciry Salsogne bei Soissons aufgestellt ist, Fig. 192 u. 193 (a. S. 252 u. 253) ist etwa 80 mal so gross, als es die Zeichnung darstellt. Es enthält an seinem Umfange eine grosse Anzahl von Zellen oder Kästen, die bei der Umdrehung des Rades in das Wasser eines Kanals *AA* eintauchen, sich füllen, sodann in die Höhe steigen und in einer gewissen Höhe das mitgenommene Wasser wieder ausgiessen. Der Ausguss erfolgt durch seitliche Oeffnungen, welche in dem inneren Radkranze angebracht sind, in die Gerinne *BD*, *CE*. Die Arme *FF*, welche den äusseren Theil des Rades, den Radkanal, mit der Welle in eine feste Verbindung bringen, nehmen nicht die ganze Breite des Rades ein (Fig. 193) und sind nahe zusammengerückt, so dass die Gerinnköpfe *B*, *C* zu beiden Seiten dieser Arme *F* in das Innere des Rades sich erstrecken können, ohne dass sie mit den Radarmen *F* in Berührung kommen. Ein anderes seitlich angebrachtes Wasserrad (Fig. 193) setzt die Welle *G* und mittelst eines Zahnradvorgeleges das Schöpfrad in Bewegung.

Es ist klar, dass bei dieser Einrichtung das Rad das ganze Gewicht des gehobenen Wassers zu tragen und daher einen bedeutenden Druck auf die Achse und in Folge hiervon eine

Fig. 192.

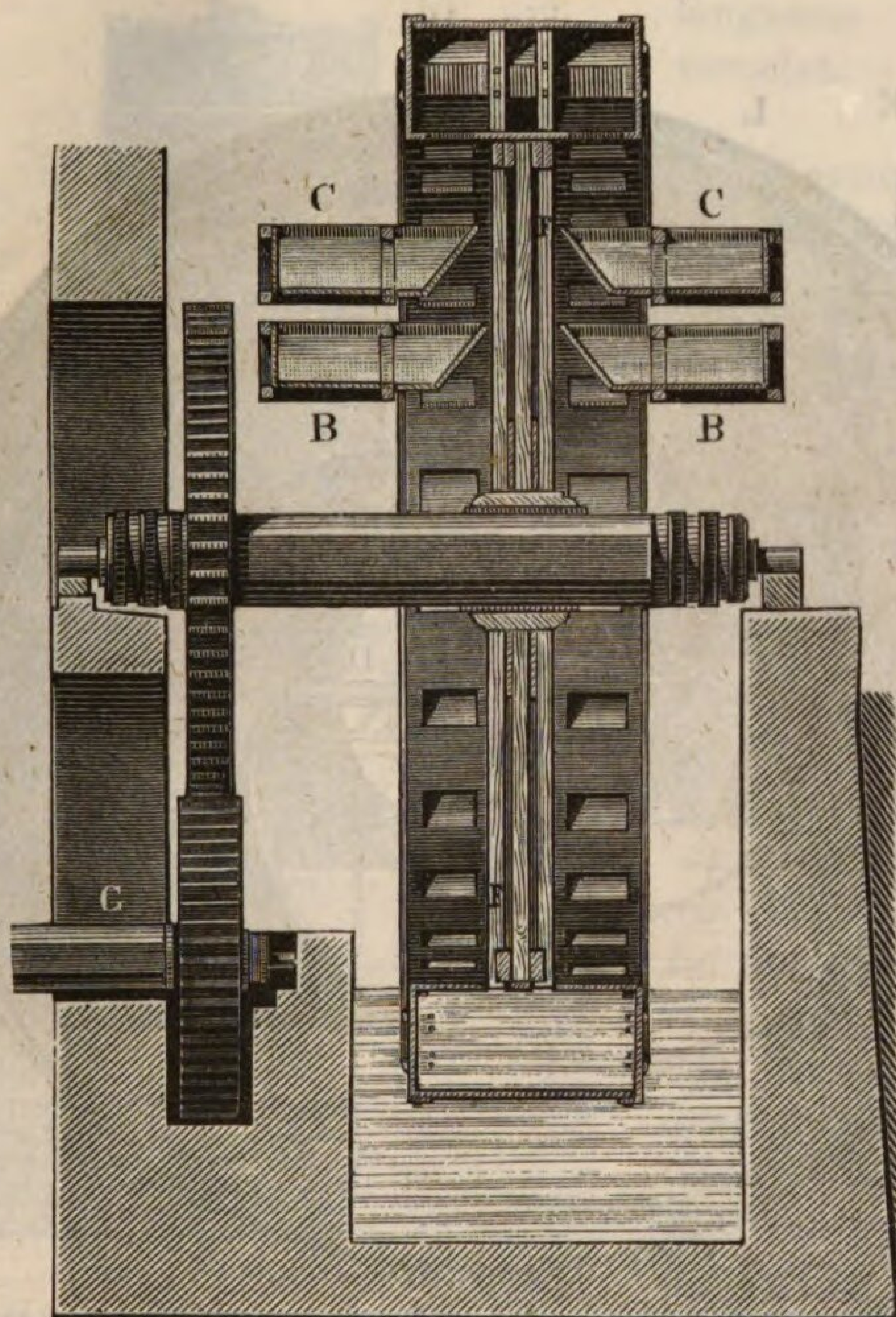


grosse Reibung zu erleiden hat. Auf der anderen Seite aber hat man bei seiner Anwendung nicht den Verlust an Wasser zu befürchten, der bei dem Wurfrad (§. 137) zwischen den Schaufeln und dem Mauerwerk selbst bei der besten Construction nicht ganz vermieden werden kann. Der Kanal *E*, der das Wasser aus dem Gerinne *C* empfängt, führt das Wasser zu den höher gelegenen Punkten, der Kanal *D*, der das zuerst ausfliessende Wasser empfängt, zu den tiefer liegenden Stellen der zu berieselnden Wiesen.

141 **Das Schneckenrad**, Fig. 194 u. 195 (a. S. 254 u. 255) hat einige Aehnlichkeit mit dem Schöpfrad; es unterscheidet sich aber von

demselben dadurch, dass es das Wasser an seinem Umfange aufschöpft und es bei der Welle wieder ausgiesst. Es besteht

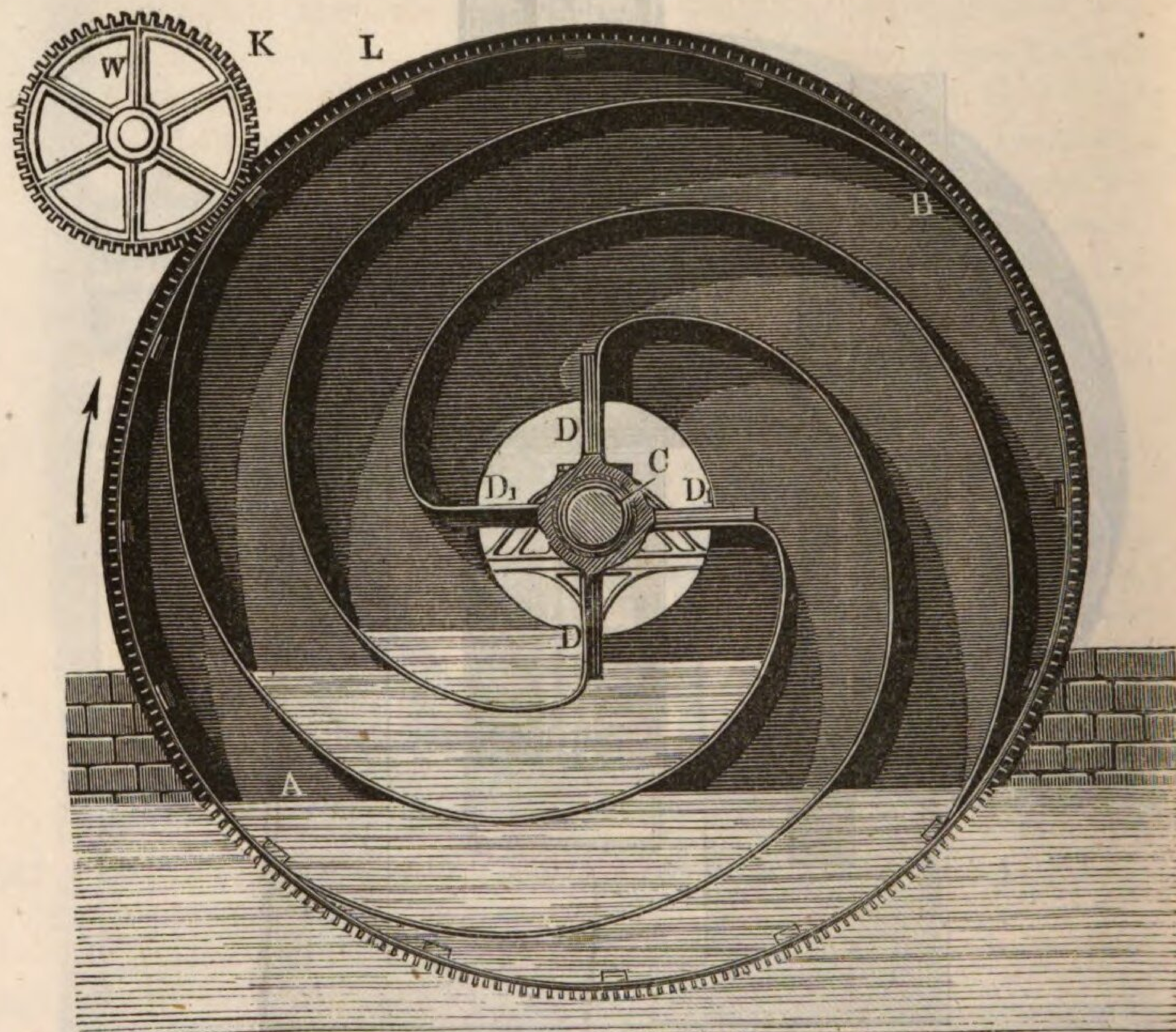
Fig. 193.



aus einer hohlen, um eine Welle *C C* drehbaren, eisernen Trommel, deren Inneres durch vier weite Spiralgänge von Eisenblech und die beiden ebenen Seitenwände in ebenso viele schneckenförmig gewundene Abtheilungen getheilt wird. Die Abtheilungen, wie DBD_1 deren eine ist, gehen von den auf der Welle *C C* sitzenden gusseisernen Armgevieren *DD*, $D_1 D_1$ aus, werden immer enger und endigen am Umfange des Rades. Der untere Theil der Trommel läuft durch das zu hebende Wasser, wodurch sich, wenn das Rad still steht, die darin befindlichen Abtheilungen so weit füllen, bis das Wasser mit dem Niveau des umgebenden Wassers gleich hoch steht. Wenn aber das Rad in der Richtung des Pfeiles langsam rundgedreht wird, treten die Enden der Kammern eines nach dem andern

aus dem Wasser und die in den einzelnen Kammern befindlichen Wassermassen werden von dem übrigen umgebenden

Fig. 194.

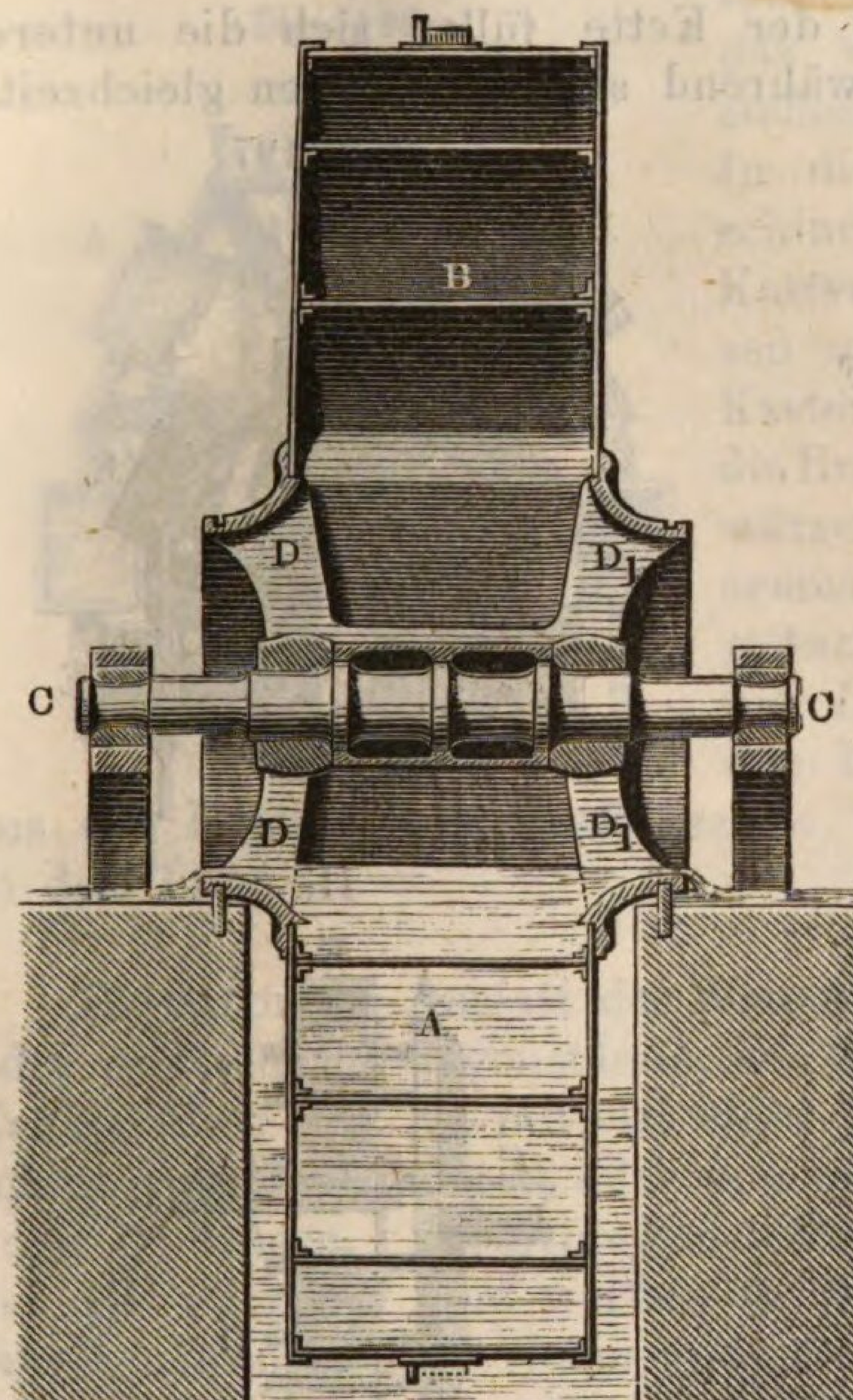


Wasser getrennt. Jede auf diese Weise isolirte Wassermasse hat das Bestreben, die tiefste Stelle in seiner schneckenförmigen Kammer einzunehmen; indem es nun bei der Umdrehung des Rades mit seiner Kammer immer höher gehoben wird, fliesst es beständig an der unteren Scheidewand dieser Kammer herab und nähert sich auf diese Weise immer mehr dem Mittelpunkte des Rades, bis es in die Höhe der in den beiden Seitenwänden der Trommel angebrachten Oeffnungen, durch welche die Welle *C C* hindurchgeht, anlangt und daselbst zu beiden Seiten des Rades abfliesst.

Das vorstehende Schneckenrad, 75mal so gross als es die Zeichnung darstellt, ist zu Avignon in Betrieb, um das Wasser zur Berieselung der Reisfelder der Camargue zu heben. Das

Rad wird durch die Welle *W* und mittelst der Zahnräder *K* und *L* in der Richtung des Pfeils in eine langsame Umdrehung versetzt.

Fig. 195.



Paternosterwerke. Wenn man die Schöpfeimer, anstatt sie an dem Umfange eines umlaufenden Rades zu befestigen, durch eine Kette ohne Ende mit einander verbindet und diese Kette um zwei übereinander stehende Räder oder Scheiben schlingt, so hat man ein Paternosterwerk. Die Kette wird mit ihrem unteren Ende in das Wasser, welches gehoben werden soll, eingetaucht, und durch Umdrehung des oberen Rades, um welches sie gelegt ist, in Bewegung gesetzt; die an der Kette angehängten Schöpfeimer schöpfen dann an dem unteren Theile das Wasser, führen es mit sich in die Höhe und giessen es am oberen Ende der Maschine in ein untergesetztes Gerinne wieder aus. 142

Wenn man in dieser Weise Eimer oder Kästen an die Kette befestigt, so nennt man das Werk eine Eimer- oder Kastenkunst; werden aber statt der Eimer bloss Scheiben oder Schaufeln angewandt, so hat man die Scheiben- oder Schaufelkunst; endlich kann man auch bloss Kolben oder Kugeln an die Kette hängen, und erhält dann die sogenannten Püschelkünste.

Die Eimer- oder Kastenkünste, Fig. 196 und 197 (a. f. S.), 143
bestehen aus einer Reihe kettenartig zusammenhängender Eimer

oder Kasten A, E, D, welche unten bei D in das zu hebende Wasser M tauchen und durch Umdrehung des oberen Rades C in Bewegung gesetzt werden.

Bei der Umdrehung der Kette füllen sich die unteren Kasten D mit Wasser, während sich die oberen gleichzeitig

Fig. 196.

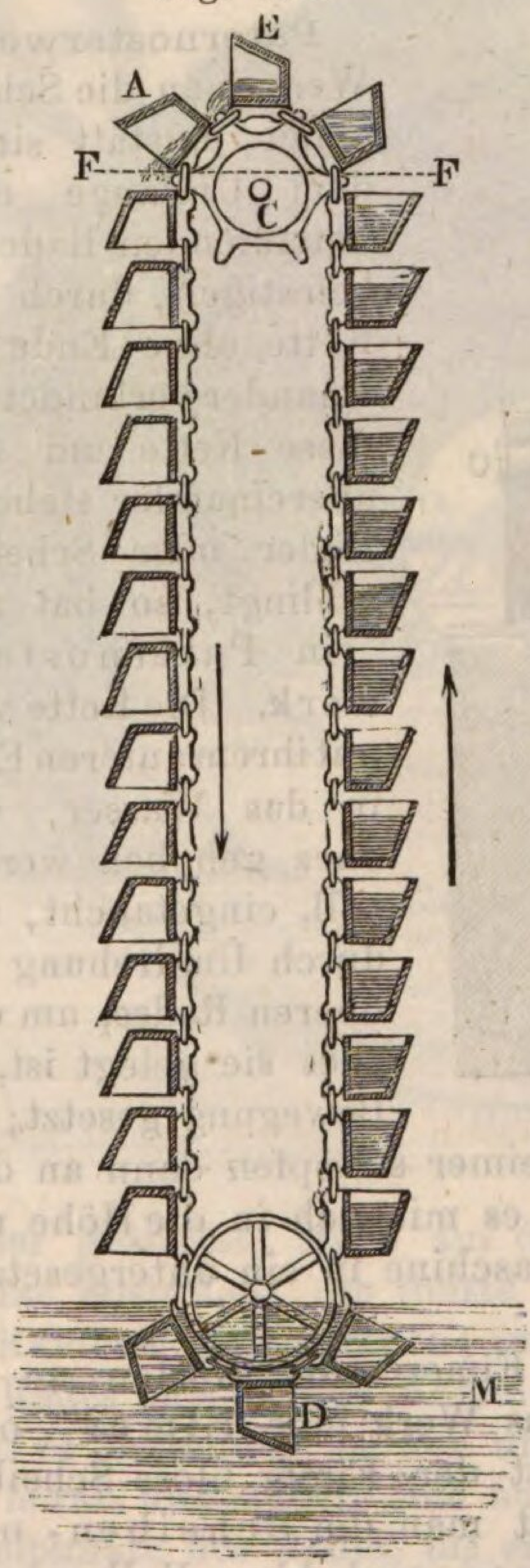
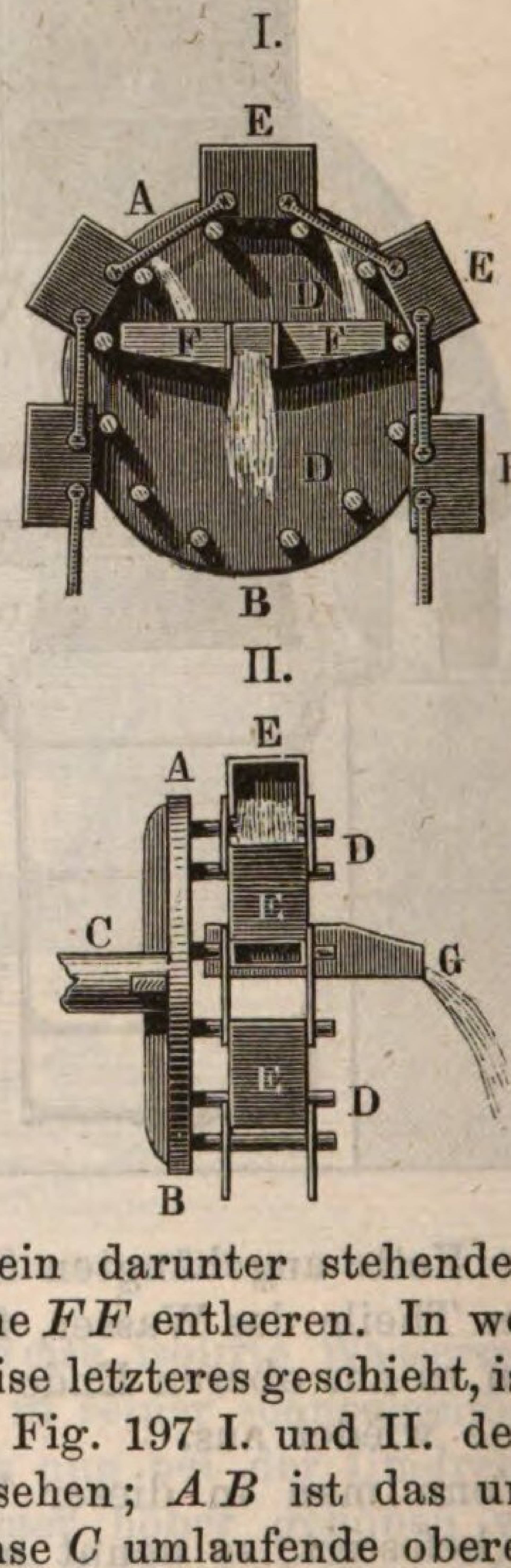


Fig. 197.

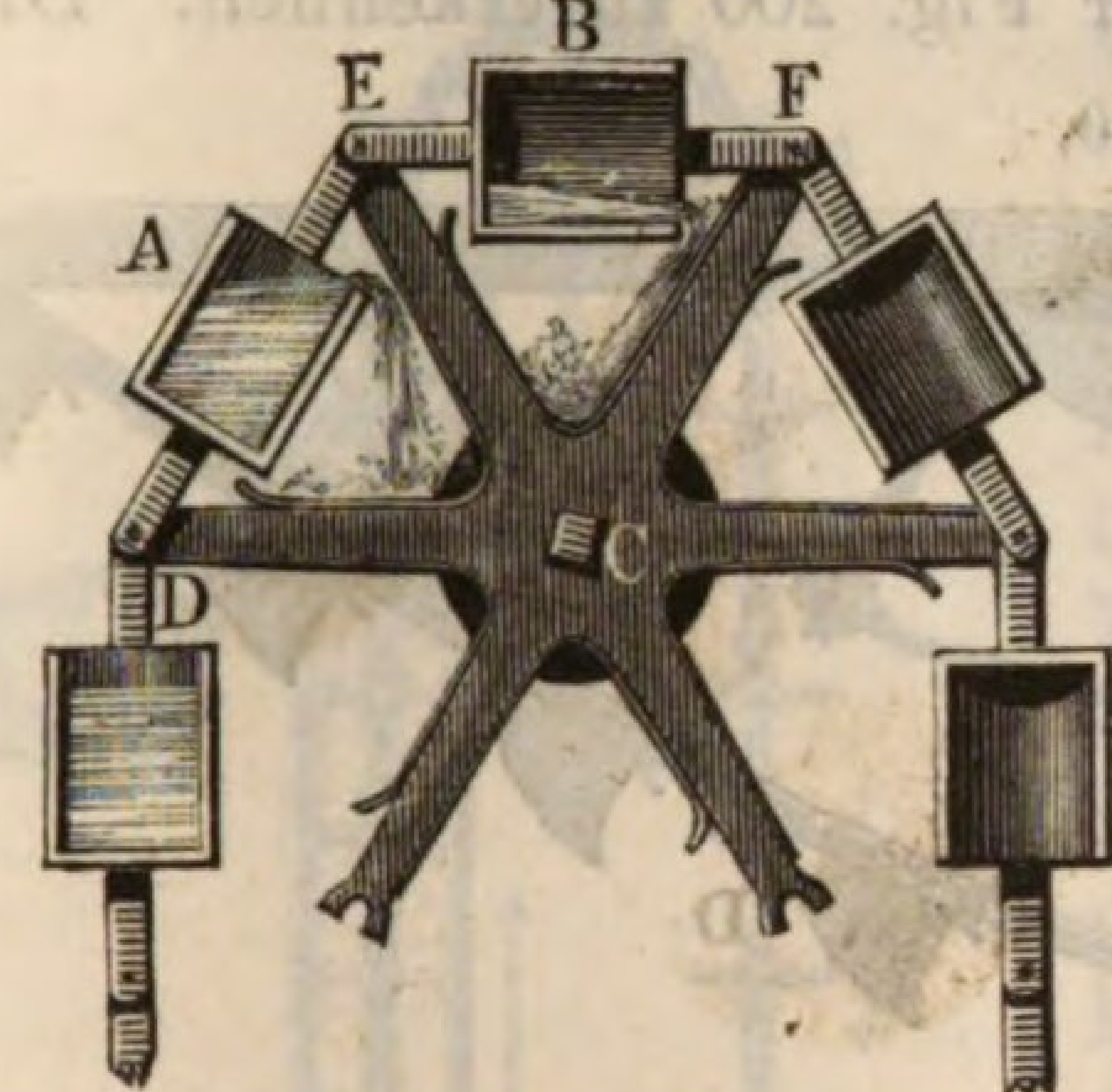


in ein darunter stehendes Gerinne FF entleeren. In welcher Weise letzteres geschieht, ist aus der Fig. 197 I. und II. deutlich zu sehen; AB ist das um die Achse C umlaufende obere Rad; E, E sind die Kasten und FF (I) nebst G (II) der Trog zum Auffangen und das Gerinne zum Ableiten des ausfliessenden Wassers. Aus I ist zugleich zu ersehen, wie die Kette durch die aus der Stirnfläche des Rades DD hervortretenden Triebstöcke in Bewegung gesetzt wird.

Um das Wasser am oberen Theile einer Kastenkunst zweckmässig aufzufangen, macht man auch wohl aus den ein-

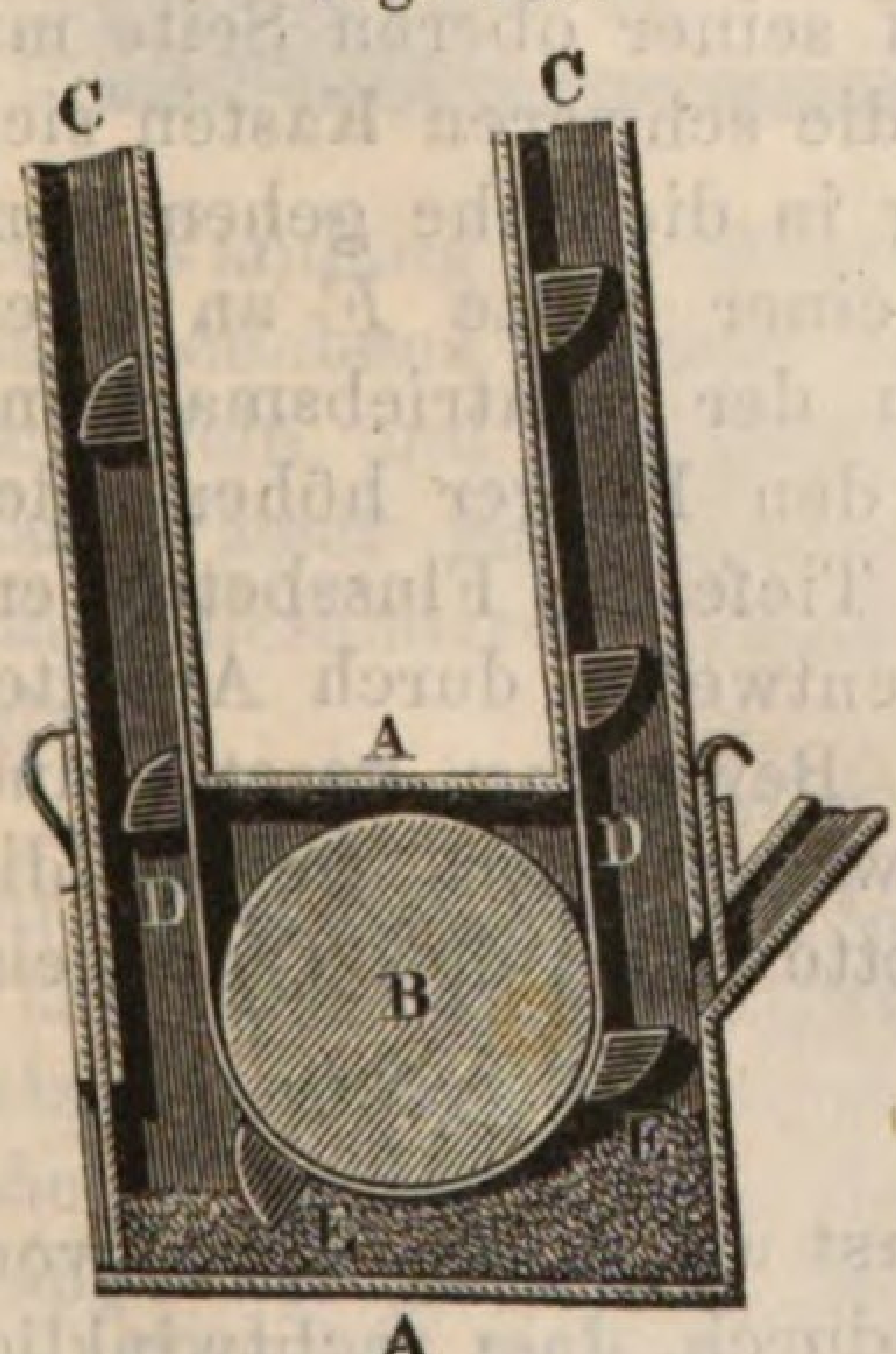
zelnen von der Welle *C*, Fig. 198, auslaufenden breiten Radarmen und dazwischen gesetzten Blechstücken besondere Auffangegerinne, aus denen dann das Wasser in einen seitwärts stehenden Trog gelangen kann. In diesem Falle hat die Maschine zwei Ketten, welche die Kasten *A*, *B* zwischen sich fassen und sich mittelst der die Kasten verbindenden Bolzen auf die Enden der Radarme *D*, *E*, *F*... stützen. Die von den Radarmen und den Seitenblechen begränzten trichterförmigen Räume *DCE*, *ECF*... zwischen den beiden Rädern fangen das aus den Kasten *B*, *A* ausfliessende Wasser auf und leiten es in den Trog ab.

Fig. 198.



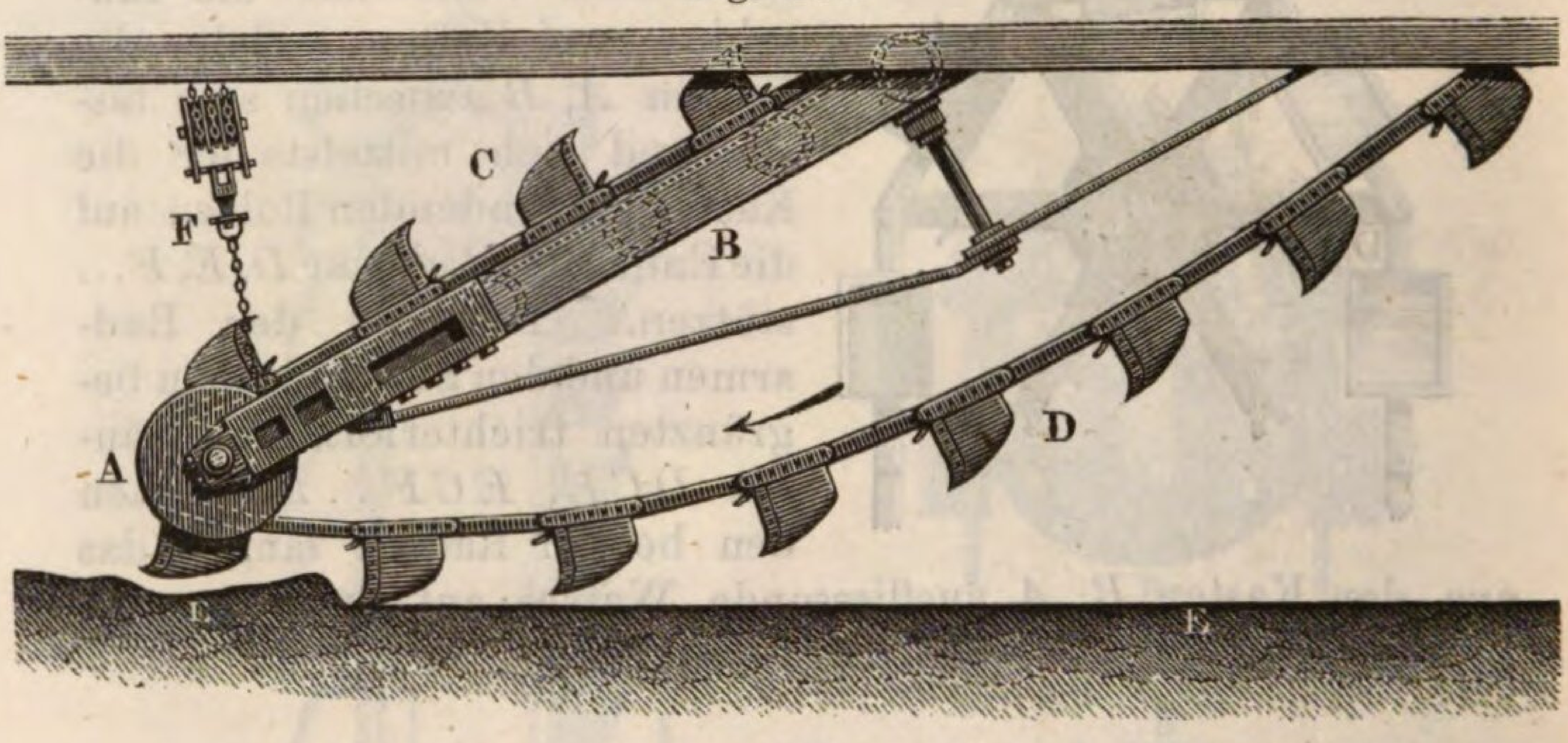
Elevatoren. Anstatt des Wassers kann man andere lockere oder zerkleinerte Gegenstände, wie Körner, Mehl, zerschnittene Zuckerrüben u. s. w. mittelst einer Kastenkunst von einer Maschine zu einer anderen oder von einem Stockwerk in ein höheres befördern. Derartige Einrichtungen erhalten den Namen der Elevatoren und werden in Getreidemühlen, in Zuckerfabriken und in sehr vielen anderen industriellen Anlagen angewandt. Die Eimer oder Kasten sind dann entweder durch Ketten, oder, wie Fig. 199 zeigt, durch einen endlosen Riemen mit einander verbunden. *AA* ist der Behälter, aus welchem die zu hebenden Gegenstände geschöpft werden, *B* die untere in dem Kasten *AA* eingeschlossene Riemenscheibe, *E*, *E* sind die an dem Riemen *DD* befestigten Eimer oder Kasten, welche sich bei den zum Aufziehen von Körnern, Mehl u. s. w. dienenden Elevatoren in einer Art Kanal bewegen, gegen dessen Seitenwand sich die beladenen Eimer anlehnen können. 144

Fig. 199.



145 **Die Baggermaschine** gehört ebenfalls zu den Kastenkünsten, und dient dazu, die Flussbetten und Wasserbassins von Schlamm zu reinigen oder durch Ausbaggern von Sand dieselben an gewissen Stellen zu vertiefen. Das Wesentlichste einer solchen Maschine ist aus der Fig. 200 zu erkennen. Die

Fig. 200.

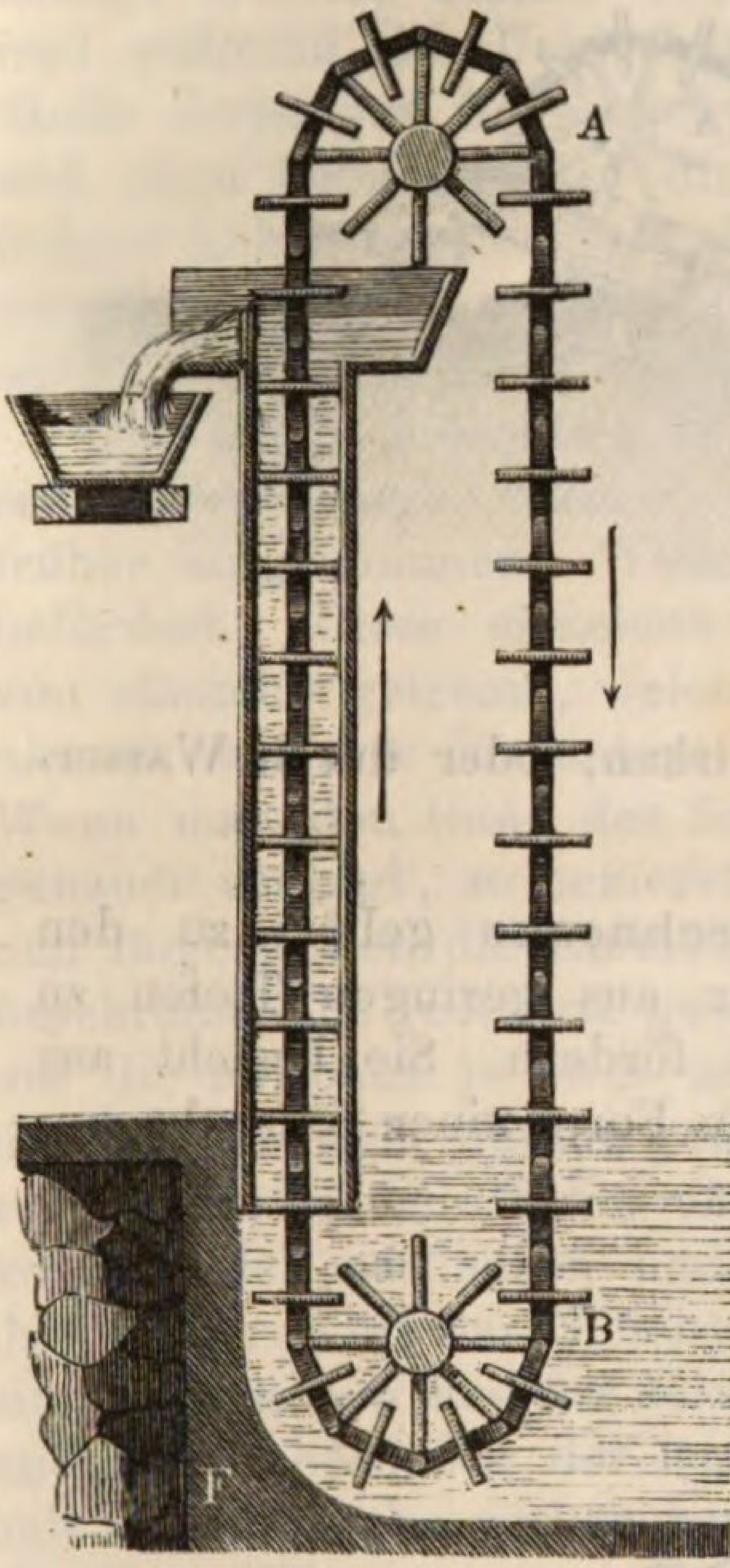


Kasten sind von starkem Eisenblech und haben einen siebartig durchlöcherten Boden, um das mit dem Sande zugleich geschöpfte Wasser abfliessen zu lassen. Die Eimer sind an zwei Ketten befestigt, welche wie bei jedem anderen Paternosterwerke über zwei kantige Trommeln laufen. Auf der Seite, wo die Kasten in die Höhe steigen, befindet sich mit dem Gerüste verbunden ein starker Rahmen *B*, der die untere Trommel theilweise umgiebt und auf seiner oberen Seite mit eisernen Rollen versehen ist, damit die schweren Kasten sich darauf stützen und ohne viel Reibung in die Höhe gehen können. Das untere Ende *A* ist mit einer Kette *F* an einen Flaschenzug aufgehängt, welcher zu der Umtriebsmaschine hinaufreicht, um mittelst desselben den Bagger höher oder tiefer zu stellen, je nachdem es die Tiefe des Flussbettes erfordert. Die Baggermaschine wird entweder durch Arbeiter oder durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt und steht mit ihrem Gerüste meist auf zwei Kähnen, welche die eigentliche Baggervorrichtung, die Kette nebst den Trommeln zwischen sich fassen.

146 **Die Schaufel- oder Scheibenkunst** unterscheidet sich von den vorherigen Paternosterwerken dadurch, dass rechtwinklig

zu der endlosen Kette statt der Kasten entweder viereckige, 12 bis 16 Zoll lange und 6 bis 8 Zoll hohe Holzschaufeln oder kreisrunde Scheiben angebracht sind, welche, wie Fig. 201 zeigt, auf derjenigen Seite, wo die Kette in die Höhe geht, durch eine viereckige oder cylindrische Röhre, die Steigrinne, hindurchgehen. Die Kette läuft wieder oben und unten über die beiden Räder *A* und *B*. Wird das obere Rad *A* in Umdrehung versetzt, so bewirkt die Kette zugleich die Umdrehung des unteren Rades *B*, so dass die eine Kettenhälfte sich abwärts, die andere sich aufwärts bewegt. Der untere Theil wird so tief in das zu hebende Wasser eingetaucht, dass die Basis der Steigrinne noch unter dem Wasserspiegel steht. Wird nun die Kette in der Richtung des Pfeils in Bewegung gesetzt, so isolirt jede in die Steigrinne eintretende Schaufel oder Scheibe einen Theil des Wassers von dem übrigen, und hebt dieses vor sich her in die Höhe. Es ist klar, dass die Schaufeln oder die Scheiben sich möglichst nahe an der Wandung der Steigrinne vorbei bewegen müssen, damit das gehobene Wasser wenig Gelegenheit hat, zwischen den Schaufeln und der Rinnenwand wieder zu entweichen. Wenn das Wasser eine gewisse Höhe erreicht hat, gelangt es in einen besonderen Behälter, aus dem es dann weiter geleitet wird.

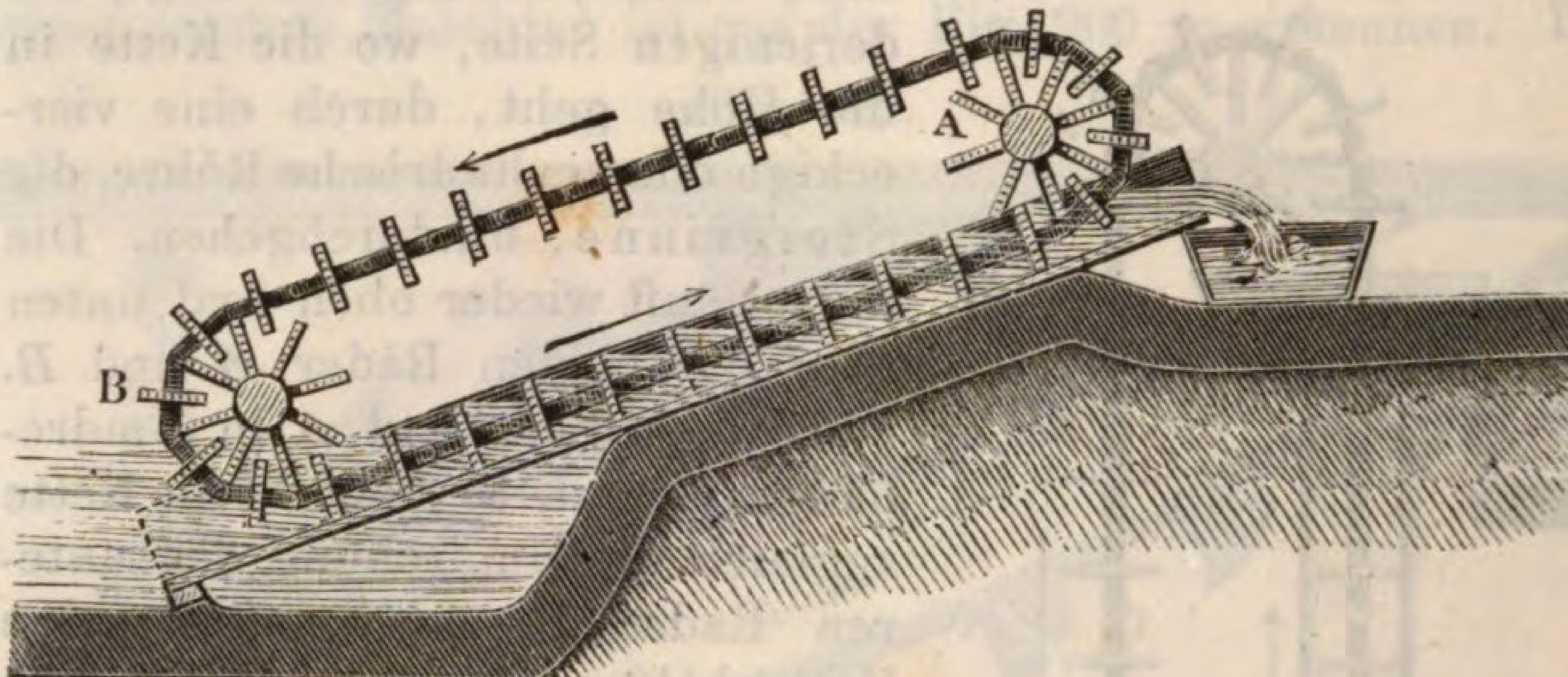
Fig. 201.



Anstatt die Schaufelkunst vertical aufzustellen, giebt man ihr häufig eine geneigte Lage, wie in Fig. 202 (a. f. S.). In diesem Falle kann der Auffangekasten der Steigrinne wegfallen, so dass letztere einfach aus einer hölzernen Röhre besteht, durch welche die aufsteigenden Schaufeln sich hindurch bewegen. Die Länge der Rinne ist 15 bis 30 Fuss und ihre Neigung gegen den Horizont je nach den Umständen 10 bis 30 Grad. In den

meisten Fällen werden die Schaufel- und Scheibenkünste mittelst Kurbeln durch Arbeiter bewegt, zuweilen jedoch auch

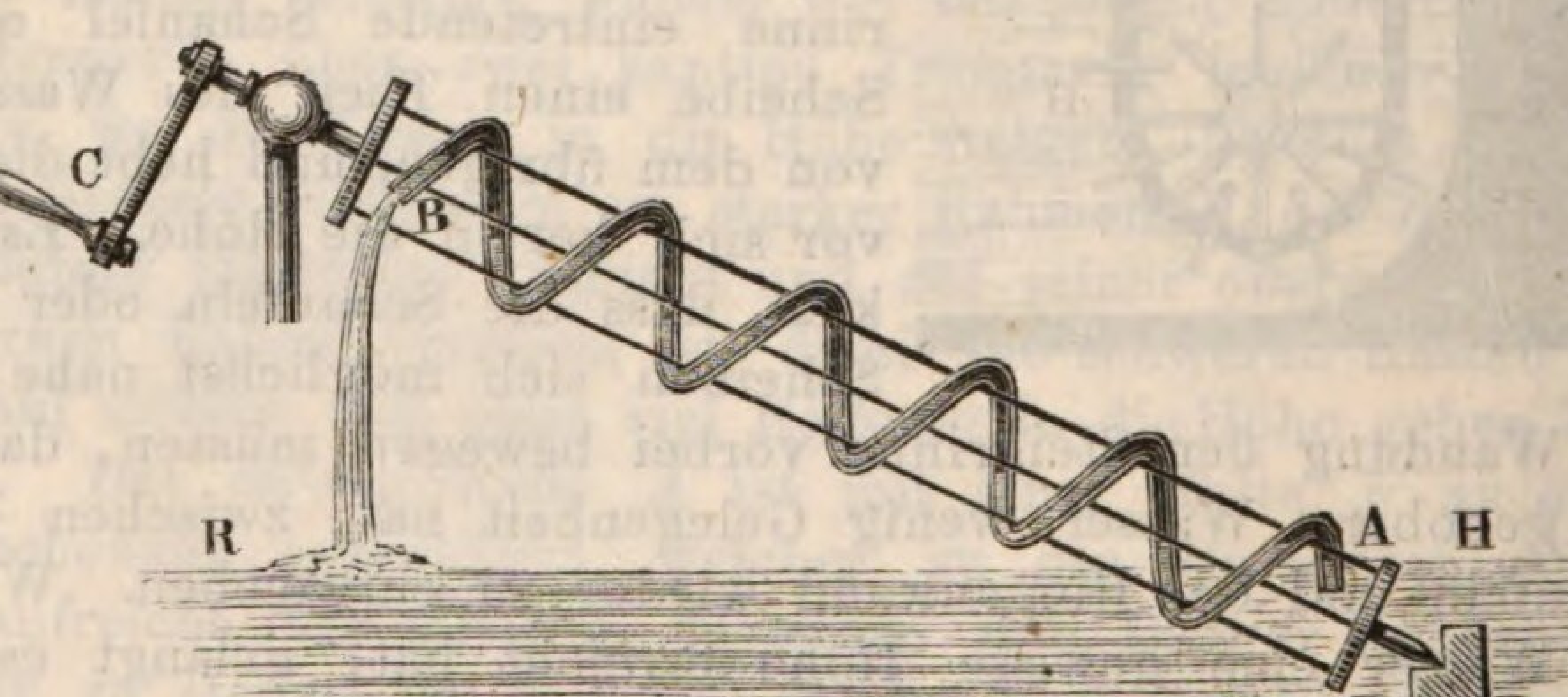
Fig. 202.



mit Pferden, die an einem Göpel wirken, oder durch Wasser- und Windräder in Betrieb gesetzt.

147 **Die Archimedische Wasserschnecke** gehört zu den ältesten Vorrichtungen, um Wasser aus geringen Tiefen zu schöpfen oder auf kleine Höhen zu fördern. Sie besteht aus einer Röhre AB, Fig. 203, welche in Form einer Schraube um

Fig. 203.



eine gegen den Horizont geneigte Achse gewunden ist und vermittelst einer Kurbel C oder eines anderen Rades mit dieser Achse in deren Zapfenlagern rund gedreht werden kann. Die Schnecke wird mit ihrem unteren Theile A so tief in das zu hebende Wasser gestellt, dass dieses Ende A bei der Umdrehung der Schnecke abwechselnd unter Wasser taucht und sich durch die Luft bewegt. Dreht man nun die Schnecke rund, so beschreibt das Ende A einen Kreis, dessen Ebene gegen den Hori-

zont geneigt ist; das Ende A taucht dabei in das Wasser, steigt daraus hervor, taucht wieder ein u. s. w. Wenn dieses Ende A aus dem Wasser hervortritt, enthält die Röhre eine gewisse Menge Wasser, welches von dem übrigen Wasser getrennt ist und während der Umdrehung der Maschine stets die tiefste Stelle derjenigen Schneckenwindung einnimmt, in welcher es sich eben befindet. Auf diese Weise muss das Wasser in der hohlen Röhre bei der Umdrehung immer höher und höher steigen, bis es zuletzt an das Ende B der Röhre ankommt und daselbst abfliesst.

Bei jeder Umdrehung der Achse schöpft die hohle Schnecke eine neue Menge Wasser, während sie zugleich das bereits früher aufgenommene Wasser in die nächst höhere Windung befördert. Diese einzelnen Wassermengen sind durch Luft von einander getrennt, welche die Röhre während der Zeit einnimmt, wo sich ihr unteres Ende A durch die Luft bewegt. Wenn man den Gang der Schnecke in ihren einzelnen Theilen genauer verfolgt, so bemerkt man leicht, dass wegen des kleinen Bogens, den die Einmündung A der Schnecke in der Luft beschreibt, die jedesmal geschöpfte Luftmenge nicht ausreicht, um die zwischen je zwei aufeinander folgenden Wasserbögen liegenden Zwischenräume ganz auszufüllen, ohne ihre Dichtigkeit zu ändern; es muss daher diese Luft, wenn sie in diese Räume kommt, sich ausdehnen und daher an Druck verlieren. Hierdurch aber wird das Gleichgewicht zwischen der in der Röhre eingeschlossenen und der äusseren atmosphärischen Luft gestört, und der Ueberdruck der letzteren, die bei B frei auf den Inhalt der Schnecke wirken kann, verursacht, dass ein Theil der einzelnen Wassermengen in die zunächst darunter liegenden Windungen zurückgedrängt wird. Um diesen Uebelstand zu vermeiden und die Störungen in dem jedesmaligen Aufsteigen des Wassers zu verhüten, versieht man die ganze Schnecke von unten bis oben in gewissen Entfernungen mit vielen feinen Löchern, welche der äusseren Luft den Zugang in das Innere der Schnecke gestatten, jedoch das Wasser nicht durchlassen. Bei dieser Einrichtung dringt in dem Augenblicke, wo die zwischen zwei Wasserbögen enthaltene Luft sich ausdehnen will, ein Theil der äusseren atmosphärischen Luft in die entsprechenden Luftbögen, so dass der Luftdruck im Innern der Schnecke und ausserhalb derselben stets nahe derselbe ist.

Es ist unerlässlich, dass das Ende A der Schnecke bei jeder Umdrehung aus dem Wasser in die Luft trete; geschähe dieses

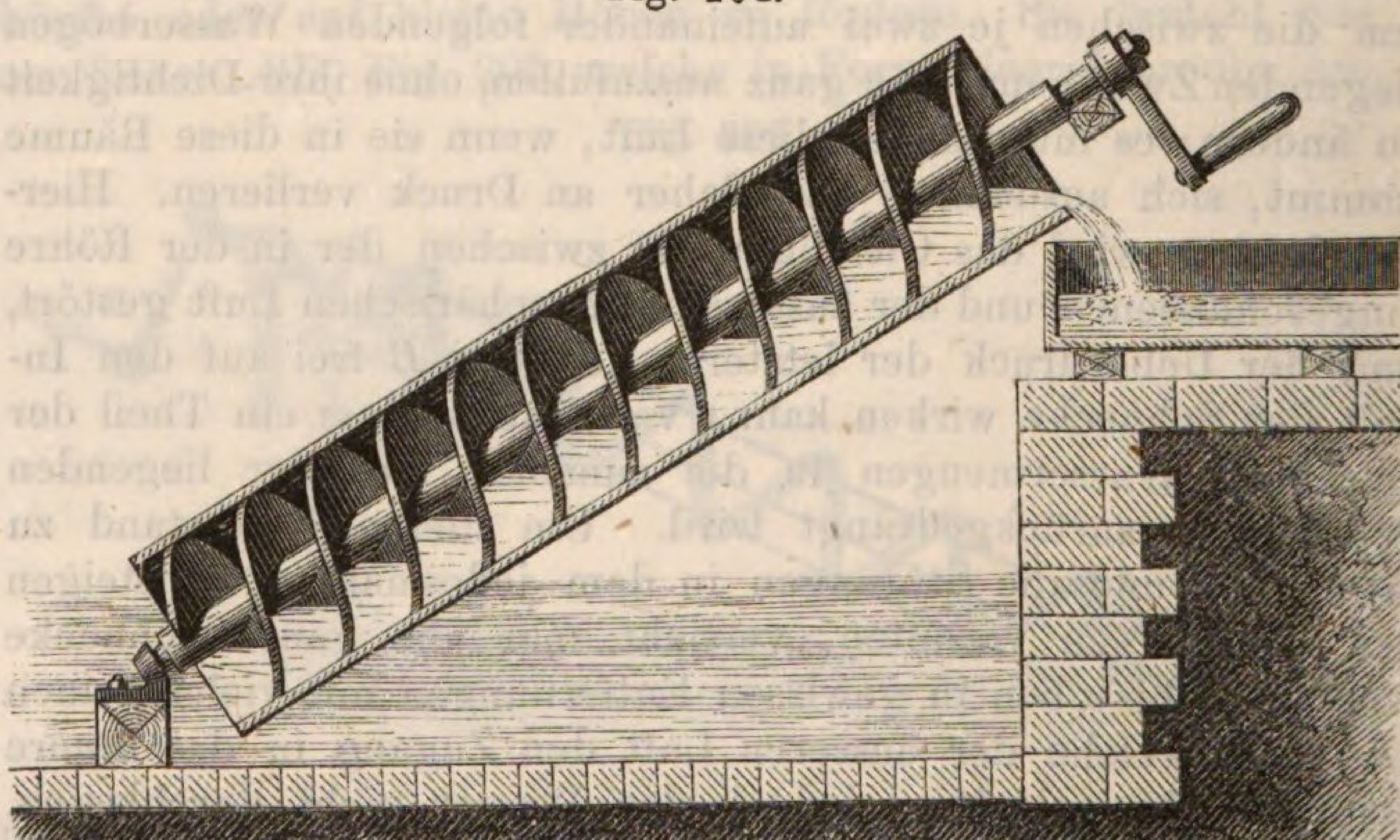
nicht, so würde die in der Schnecke enthaltene Wassermasse mit dem zu hebenden Wasser fortwährend in Verbindung stehen, das ganze System also eine Art communicirender Gefässe darstellen, bei welchen die Flüssigkeit im Innern der Schnecke nicht höher stehen könnte, als die umgebende Flüssigkeit, welche gehoben werden soll.

Dadurch, dass stets Luft unten eingeschöpft wird und von aussen durch die feinen Löcher eindringt, wird jedesmal die geschöpfte Wassermenge von der nachfolgenden isolirt und so die Communication mit dem zu hebenden Wasser aufgehoben.

148 **Die Wasserschraube oder Tonnenmühle.** Da es in der Praxis schwierig ist, einen cylindrischen Kern mit einer hohlen Röhre spiralförmig zu umgeben, so wendet man gegenwärtig statt der Archimedischen Schnecke fast nur sogenannte Wasserschrauben an, die auch wohl wegen ihres tonnenartigen Aussehens Tonnenmühlen genannt werden.

Wie die Fig. 204 zeigt, besteht die Wasserschraube aus einem inneren Kerne oder einer Spindel, die durch eine Kurbel oder

Fig. 204.



ein Rad rundgedreht werden kann, aus einer Anzahl von Schraubenflächen, welche um diese Spindel schraubenförmig herumgelegt sind, und aus einem cylindrischen Mantel (der Tonne), der die Schraubenflächen von aussen umgränzt und gewöhnlich mit den Schraubengängen fest verbunden wird. In der Figur

ist die vordere Hälfte dieses Mantels weggeblieben, um die Schraubenflächen und die Lage des Wassers in den einzelnen Abtheilungen der Schraube sehen zu können. Anstatt nur eine einzige Schraubenfläche um die Spindel zu legen, kann man auch deren zwei oder drei nehmen, die dann in gleichen Abständen von einander und stets parallel sich der ganzen Spindel entlang erstrecken; in der Fig. 204 besteht die Schraube aus zwei um 180 Grad von einander abstehenden Schraubenflächen. In der Regel kann bei den so construirten Wasserschrauben die Luft im Innern des Mantels der ganzen Spindel entlang frei circuliren, und es treten daher hierbei die Störungen, die wir vorhin besprochen haben, nicht auf; auch ist es aus demselben Grunde nicht unumgänglich nöthig, dass der untere Theil der Schraube nur zum Theil in dem zu hebenden Wasser liegt.

Bei der holländischen Wasserschraube lässt man den 149
Mantel oder die Tonne, welche die Schraube umschliesst, ganz weg, und stellt die Schraube in einen festliegenden Trog, der dieselbe nur auf der unteren Hälfte umschliesst. Der Trog oder, wie man ihn zu nennen pflegt, der Kumm, wird entweder, wie der Mantel einer Tonnenmühle, aus hölzernen Dauben zusammengesetzt oder aus Eisen construirt, ja in vielen Fällen baut man ihn aus Backsteinen (Klinkern) und Cement auf. Die Wand des Kumms muss sich so dicht als möglich, meist in einem Abstande von 1 bis 2 Linien, an die Schraubenumfänge anschliessen, um das Zurückfallen des bereits gehobenen Wassers zwischen den Schraubenflächen und der Wand des Kumms zu verhindern. Die Schraube wird gedreht wie gewöhnlich, der Mantel aber liegt fest und die Hebung des Wassers erfolgt dabei in derselben Weise, wie bei der Tonnenmühle. Wenn die holländische Schraube auch den Nachtheil hat, dass ungeachtet des sehr kleinen Zwischenraumes zwischen Schraube und Kumm dennoch einiges Wasser zurückfällt und hierdurch ein Verlust an Arbeit entsteht, so hat sie dagegen doch den grossen Vorzug, dass die Reibung ihrer Achse in den Lagern weit kleiner ist, als bei der Tonnenmühle. Bei dieser wird nämlich die ganze Last des in der Schraube enthaltenen Wassers von der Achse aufgenommen und getragen; bei der holländischen Wasserschraube dagegen zerlegt sich diese Last in zwei Seitenkräfte, von denen die eine senkrecht gegen die Wand des festliegenden Mantels wirkt und also aufgehoben wird, die andere dagegen parallel

zur Achse der Schraube wirkt. Nur der letztere Antheil der Gesammtlast hat auf die Reibung der Achse Einfluss, der erstere aber nicht, so dass der Gesammtwiderstand bei der holländischen Schraube kleiner ist, als bei der Tonnenmühle.

Die gewöhnlichen Tonnenmühlen werden in der Regel durch Arbeiter in Bewegung gesetzt; in Holland lässt man dagegen bei der Anwendung der Schraube zum Entwässern der Niederungen meist Windräder vermittelst eines Zahnrades auf ein anderes an dem Kopfe der Schraube befestigtes Zahnrad einwirken und dadurch die Schraube umdrehen.

Man wendet die holländische Schraube in horizontaler Lage auch in den Mahlmühlen an, woselbst sie das aus Mehl und Kleie bestehende Mahlgut fortzuschieben und zur weiteren Förderung dem Elevator (§. 144) zuzuführen hat.

150 **Pumpen.** In den verschiedenen bis jetzt besprochenen Wasserförderungsmaschinen waren es bewegliche Theile, welche das Wasser aus dem tiefer liegenden Raume schöpften, dann es allmälig höher führten und es erst auf der gewünschten Höhe wieder fahren liessen. Die Pumpen haben zwar auch den Zweck, das Wasser zu heben, aber sie bewirken dieses auf eine ganz andere Weise. Die beweglichen Theile derselben, welche sich in der Regel hin- und herbewegen, durchlaufen meist nur kleine Strecken und steigen nur auf einen kleinen Theil derjenigen Höhe auf und nieder, auf welche die Flüssigkeit gehoben werden soll.

Im Allgemeinen besteht eine Pumpe aus einem rings begränzten Raume, dessen innere Dimensionen willkührlich angenommen werden können, und dessen Verbindung mit den Röhren, welche die Flüssigkeit zu leiten haben, zur rechten Zeit abwechselnd hergestellt und unterbrochen werden kann. Die Hauptheile einer solchen Pumpe sind:

1. der Pumpencylinder (Pumpenstiefel) oder das Kolbenrohr, auch wohl Pumpenkörper genannt,
2. der Kolben, der sich in dem Pumpenstiefel auf und ab bewegen lässt,
3. die Ventile, wodurch die Verbindung zwischen dem Stiefel und den verschiedenen das Wasser führenden Röhren abwechselnd hergestellt und unterbrochen wird.

Die Kolben sind entweder einfach massiv oder durchlocht und mit Ventilen versehen. Von den Pumpenröhren heissen diejenigen, welche das Wasser zu dem Pumpenstiefel hinführen,

Einfall- oder Saugröhren, dagegen diejenigen, welche das Wasser von demselben wegleiten, Abfluss- oder Steigröhren.

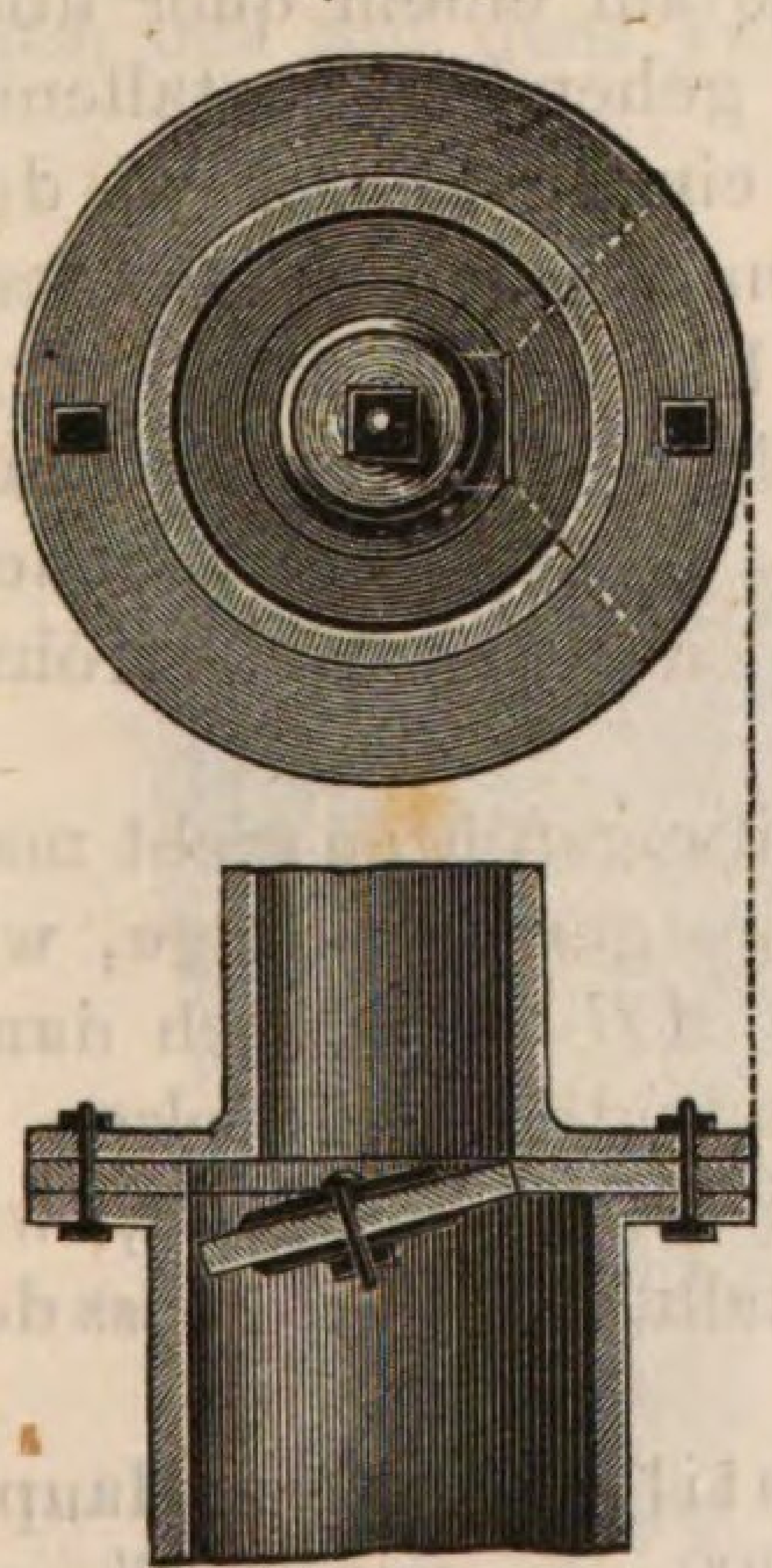
Wenn man den Pumpenstiefel unmittelbar in das Wasser stellt, kann man die Saugröhre wegfallen lassen; ebenso ist die Steigröhre entbehrlich oder sie reducirt sich doch nur auf eine ganz kurze Ausflussröhre, wenn man das Wasser unmittelbar aus dem Pumpenstiefel nach aussen entlässt. Hiernach unterscheidet man wesentlich drei Arten von Pumpen:

1. die Saugpumpen, welche eine Saugröhre, nicht aber eine Steigröhre haben;
2. die Hebe- oder Hubpumpen, welche keine Saugröhre, wohl aber eine oberhalb des Kolbens von dem Stiefel auslaufende Steigröhre haben;
3. die Druckpumpen, welche ebenfalls keine Saugröhre, wohl aber eine unterhalb des Kolbens in den Stiefel mündende Steigröhre haben.

In den meisten Fällen wendet man Combinationen dieser drei Arten von Pumpen an, und man hat dann je nach der Art der Verbindung Saug- und Hebepumpen oder Saug- und Druckpumpen.

Die Ventile haben den Zweck, den Zugang des Wassers 151
von den Röhren zu dem Stiefel oder umgekehrt zu gestatten oder abzusperren; sie befinden sich daher zwischen beiden meist in besonderen Gehäusen, den Ventilkammern, welche mit seitlichen Thüren oder beweglichen Platten versehen sind, um bei vorkommenden Störungen zu den Ventilen gelangen und dieselben repariren zu können.

Fig. 205.



Die gewöhnlicheren Arten von Ventilen sind folgende:

1. Das Klappenventil, Fig. 205, besteht in seiner einfachsten Einrichtung aus einer metallenen, um ein Scharnier drehbaren Scheibe, welche genau auf die Mündung der Leitungsröhre passt und behufs eines wasserdichten Anschlusses an die obere Fläche der Röhre mit Leder eingefasst ist.

Statt ein Scharnier anzuwenden,

macht man das Ventil auch wohl, wie Fig. 206 zeigt, bloss aus einer kreisrunden Lederscheibe mit einem radial auslaufenden Lappen *B*, mit welchem sie zur Seite der Röhrenmündung befestigt wird. Um diese Lederscheibe steif zu erhalten und das Zuschlagen der Klappe zu erleichtern, beschwert man sie oben mit einer Eisen- oder Bleiplatte *C*, welche wie die Lederscheibe 1 bis 2 Zoll über die Mündung der Röhre hinübergreift

Fig. 206.

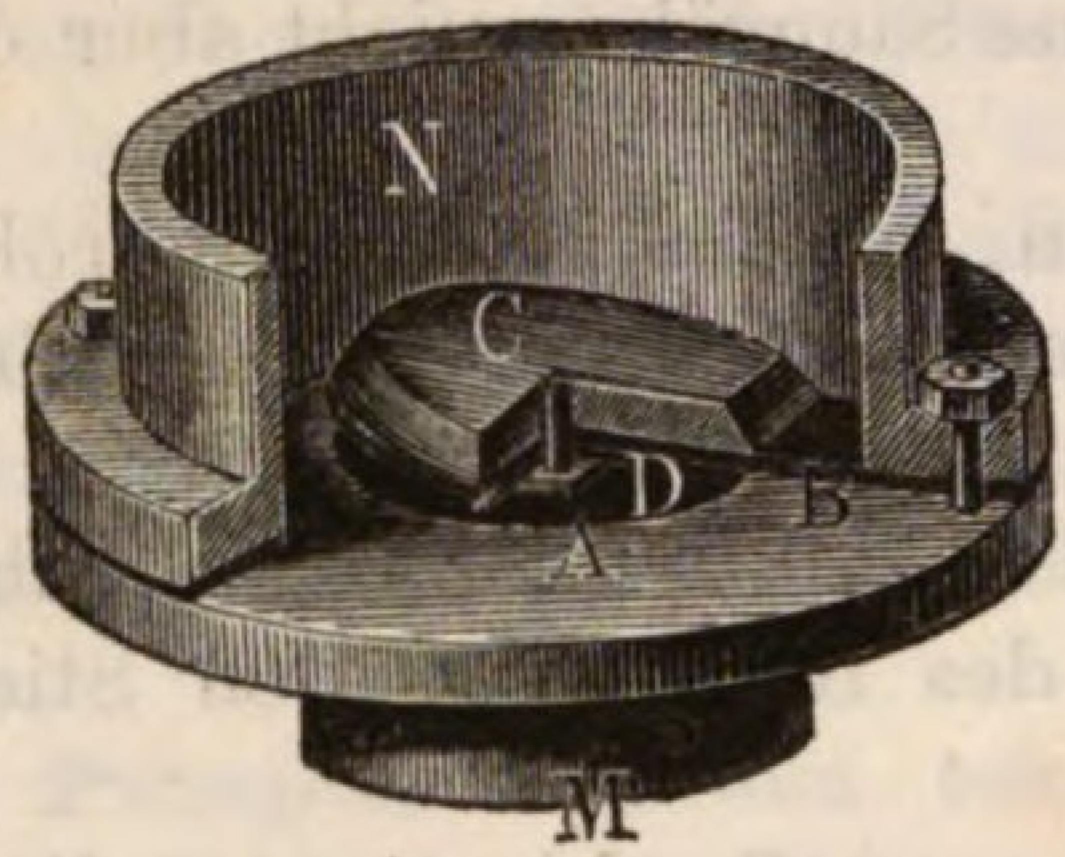
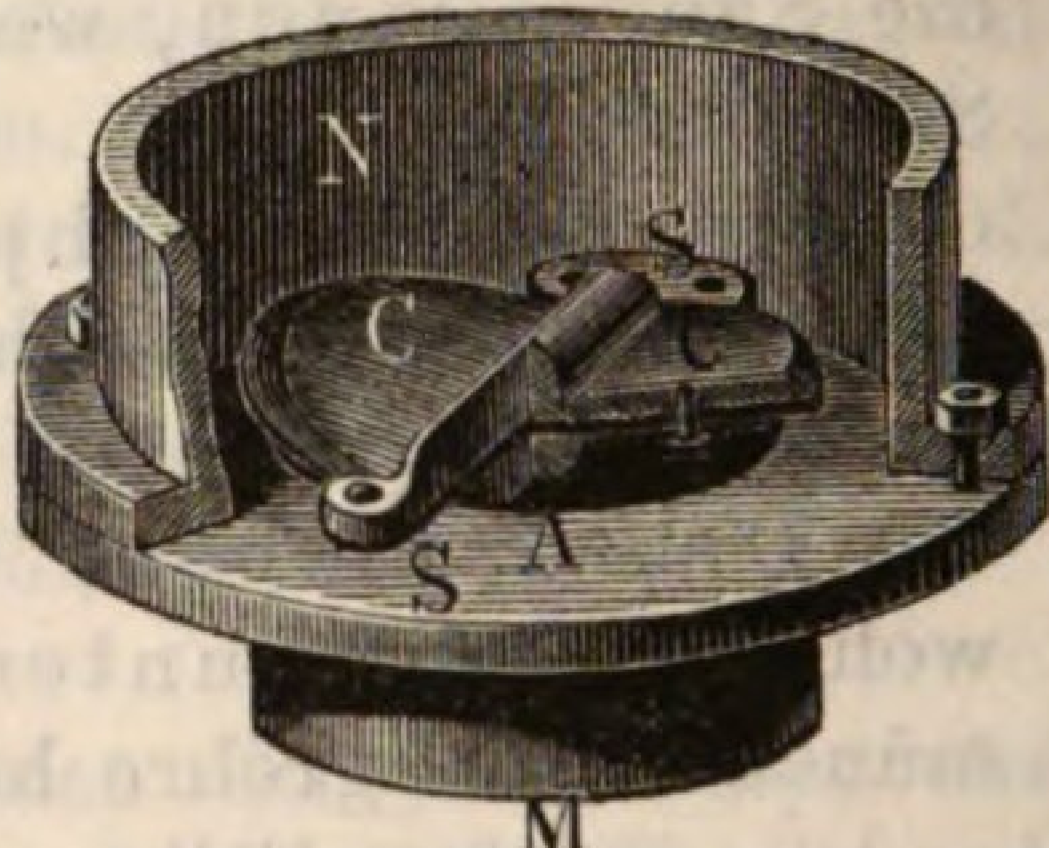


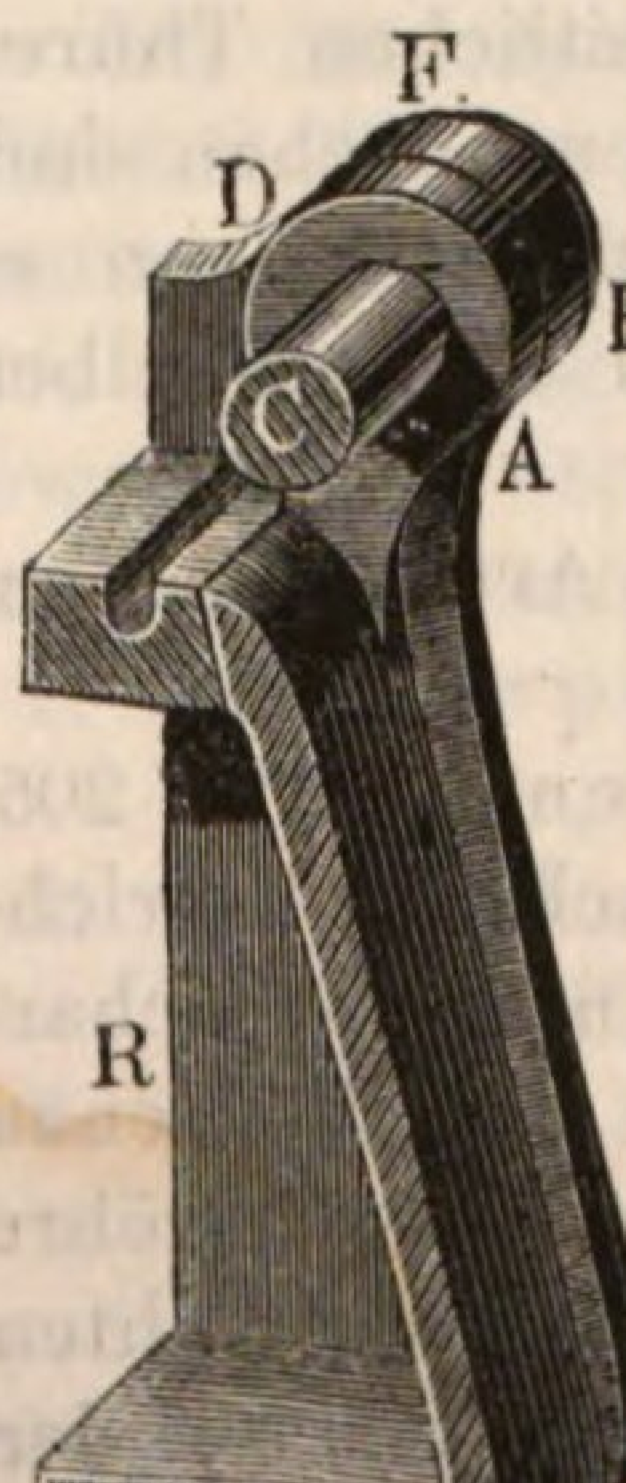
Fig. 207.



unten dagegen ist eine kleinere Platte *D* angebracht, welche nicht bis zur Mündung der Röhre reicht und daher im Innern derselben freien Spielraum hat (in der Figur ist $\frac{1}{4}$ des Ventils weggeschnitten, um dieses Stück sehen zu können). Beide Platten *C* und *D* sind durch Nieten mit einander verbunden.

Statt der einfachen Klappenventile wendet man bei weiten Röhren auch wohl doppelte Klappen *C*, *C*, Fig. 207, an. Der Lederlappen *CC* ruht hier in seiner Mitte auf einem quer über die Röhrenmündung gehenden metallenen Steg und wird durch einen zweiten an den Enden festgeschraubten Steg *SS* darauf festgehalten. In beiden Figuren bezeichnet *M* die Röhre, durch welche das Wasser nach dem Ventile hinströmt; *N* die Ventilkammer, welche zu dem Stiefel oder der Abflussröhre führt.

Fig. 208



In horizontalen Leitungsröhren giebt man den Ventilen häufig eine geneigte Lage, wie Fig. 208. Die Klappe *AB* dreht sich dann mit ihrem auf den cylindrischen Bolzen *C* gesteckten Ohr und bildet in der Lage, wie die Zeichnung es darstellt, den Verschluss der Röhre *R*.

2. Das Kegelventil ist in seinen Haupttheilen aus der Fig. 209, in seinen Einzel-

heiten dagegen aus den Fig. 210 und Fig. 211 zu erkennen. Es besteht aus einem kegelförmig ausgeschnittenen Ventilsitze

Fig. 210.

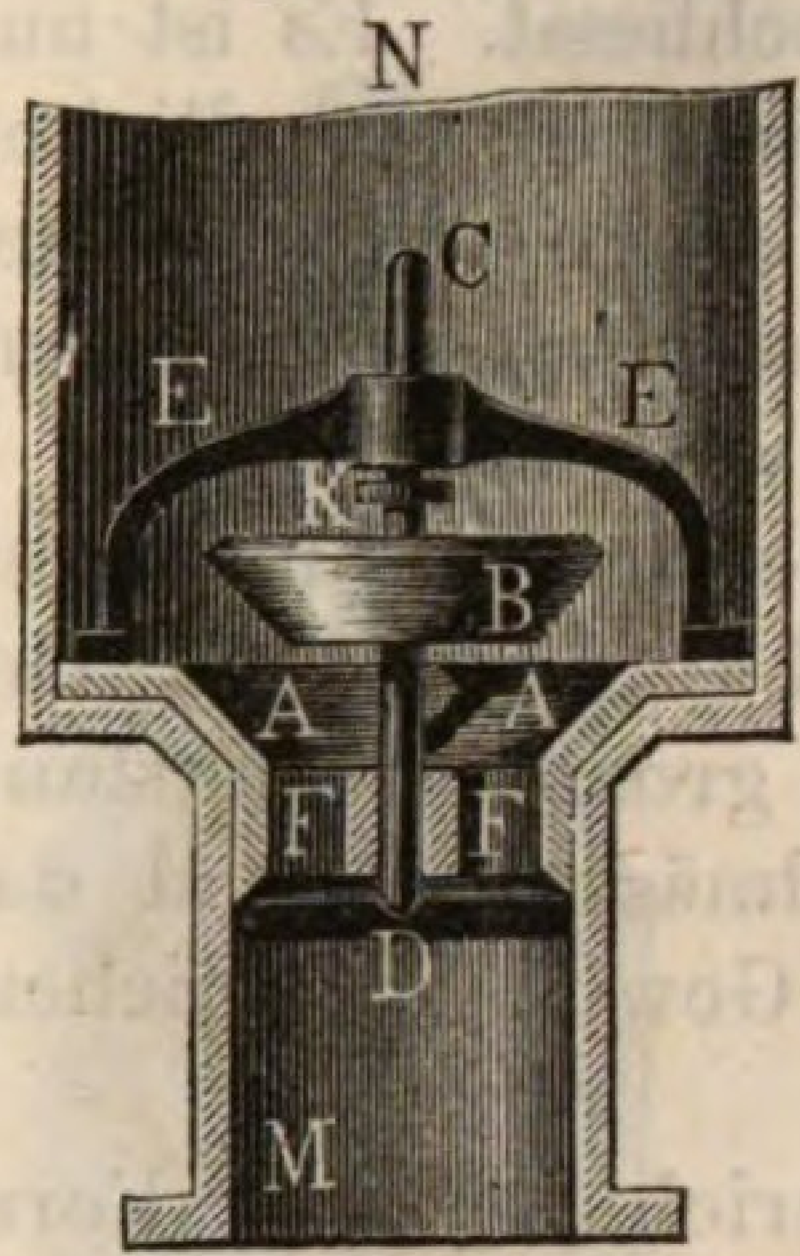


Fig. 209.

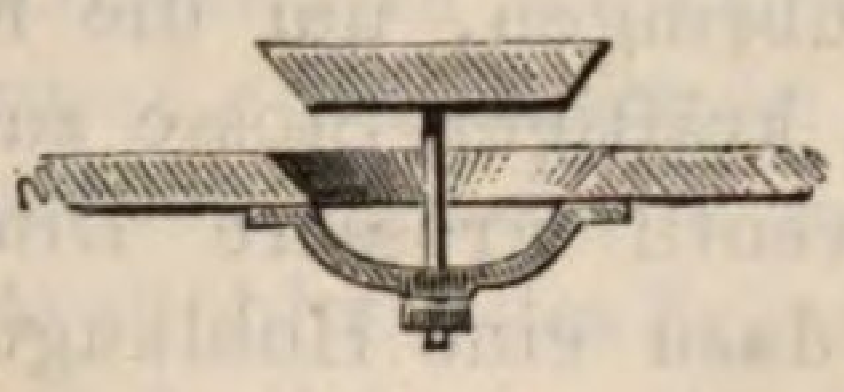
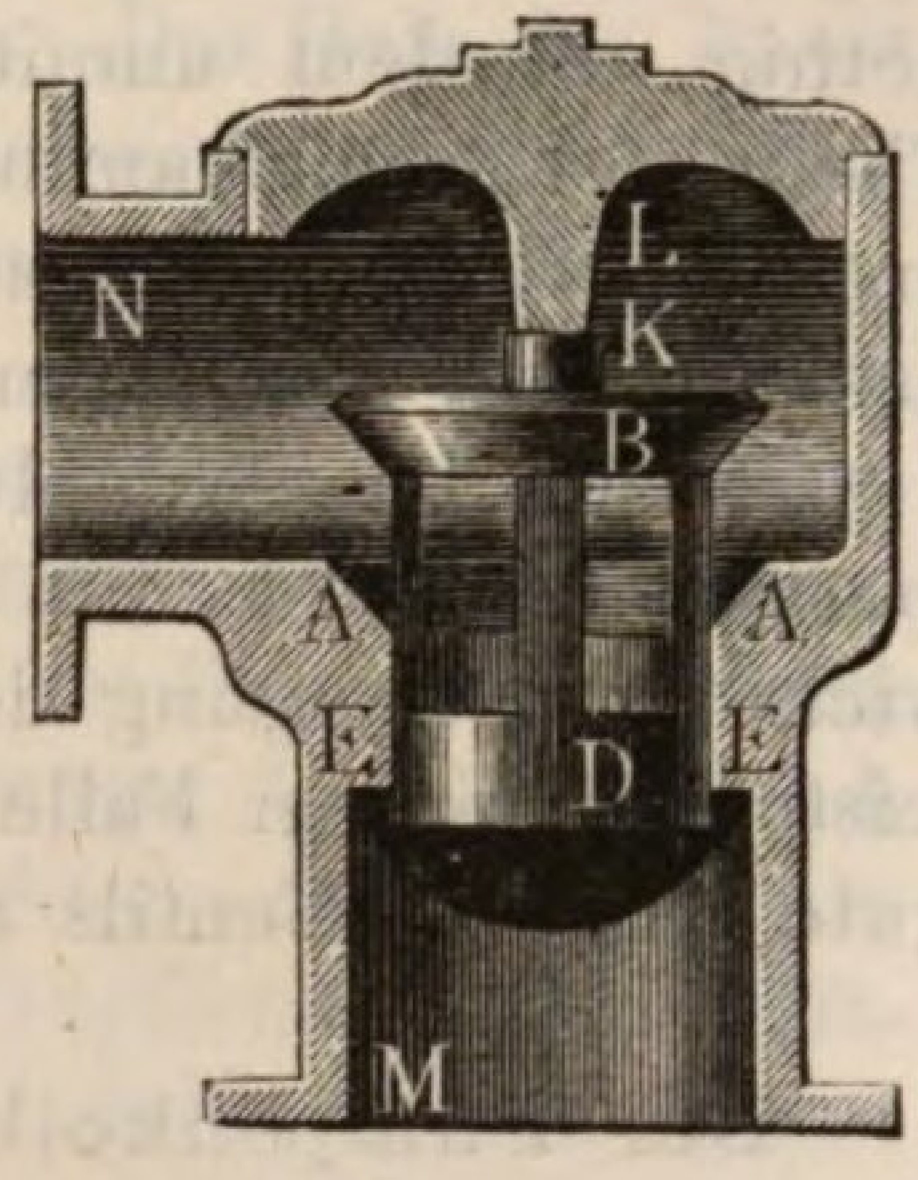
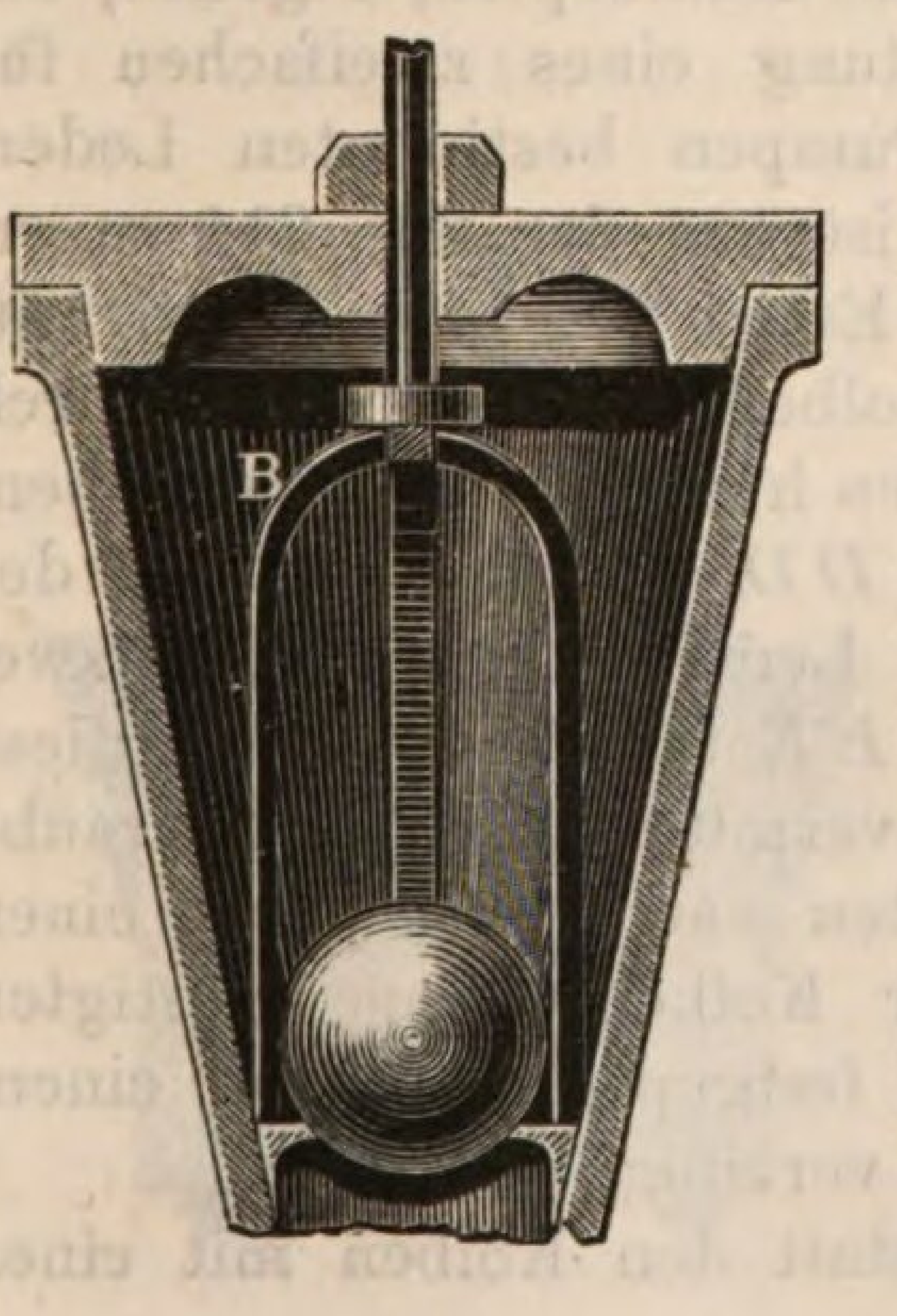


Fig. 211.



AA, in welchen das ebenfalls kegelförmig geformte Ventil *B* genau passt. *M* bezeichnet wieder das Zuleitungsrohr, *N* die Ventilkammer. Damit sich das Ventil bei seinem Hube aus dem Ventilsitze nur in seiner Achse *CD* ausschiebe und nicht seitwärts ausweiche, ist es entweder, wie in Fig. 210, mit einem Stiele *CD* versehen, der in zwei Ringen *C* und *D* seine Führung hat, oder es besitzt, wie in Fig. 211, einen cylindrischen Mantel *D* mit Fenstern, welcher von der an den Ventilsitz *AA* anstossenden cylindrischen Büchse *EE* geführt wird. Die Ringe *C* und *D*, Fig. 210, werden von den mit dem Ventilsitze *AA* fest verbundenen Armen *EE* und *FF* getragen. Um das Ausschieben des Ventils in den richtigen Gränzen zu halten, wird der Stiel oder die Ventilplatte mit einem Knopfe *K* versehen, der beim Ausschieben gegen irgend einen festen Theil, z. B. gegen den Ring *C* in Fig. 210, oder gegen einen Vorsprung *L* der Ventilkammer, Fig. 211, anstösst und damit die Hubhöhe des Ventils begränzt.

Fig. 212.



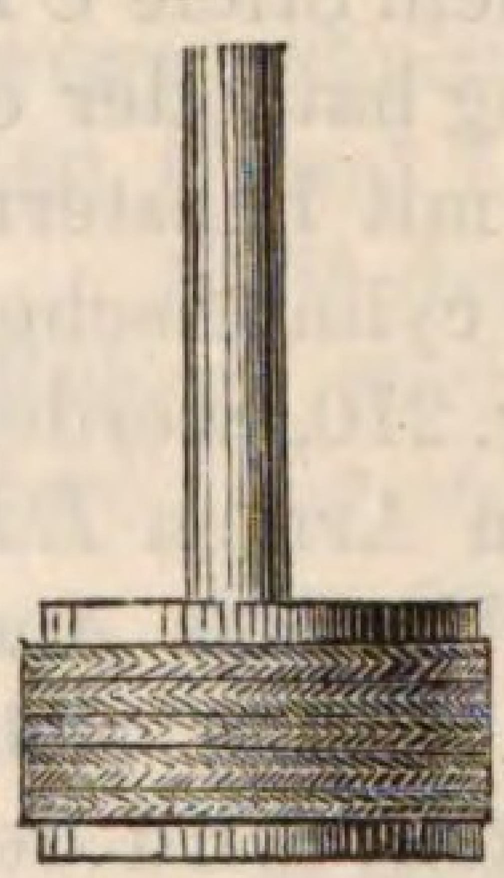
3. Das Kugelventil, Fig. 212, besteht aus einer Kugel, welche sich in die kreisförmige Mündung der Röhre einlegt und durch ihren Anschluss an den Rand der Mündung

diese selbst verschliesst. Einer besonderen Führung, wie sie in der Figur angedeutet ist, bedarf dieses Ventil nicht; die Regelmässigkeit der Kugelgestalt bewirkt, dass es in allen seinen Lagen die Mündung der Röhre genau verschliesst. Es ist nur nöthig, in dem unmittelbar über der Mündung befindlichen Theile der Ventilkammer einen Korb oder einige übereinander greifende Bügel *B* anzubringen, um die Kugel zu verhindern, dass sie sich bei einem kräftigen Stosse zu weit ausschiebe.

Wenn ein Kugelventil grössere Dimensionen annehmen muss, so wendet man dazu eine Hohlkugel an, damit ihr Gewicht der Bewegung des Wassers keinen zu grossen Widerstand leiste; in diesem Falle lässt sich die Regelmässigkeit und das gute Spiel des Ventils am besten durch das Gewicht abgleichen.

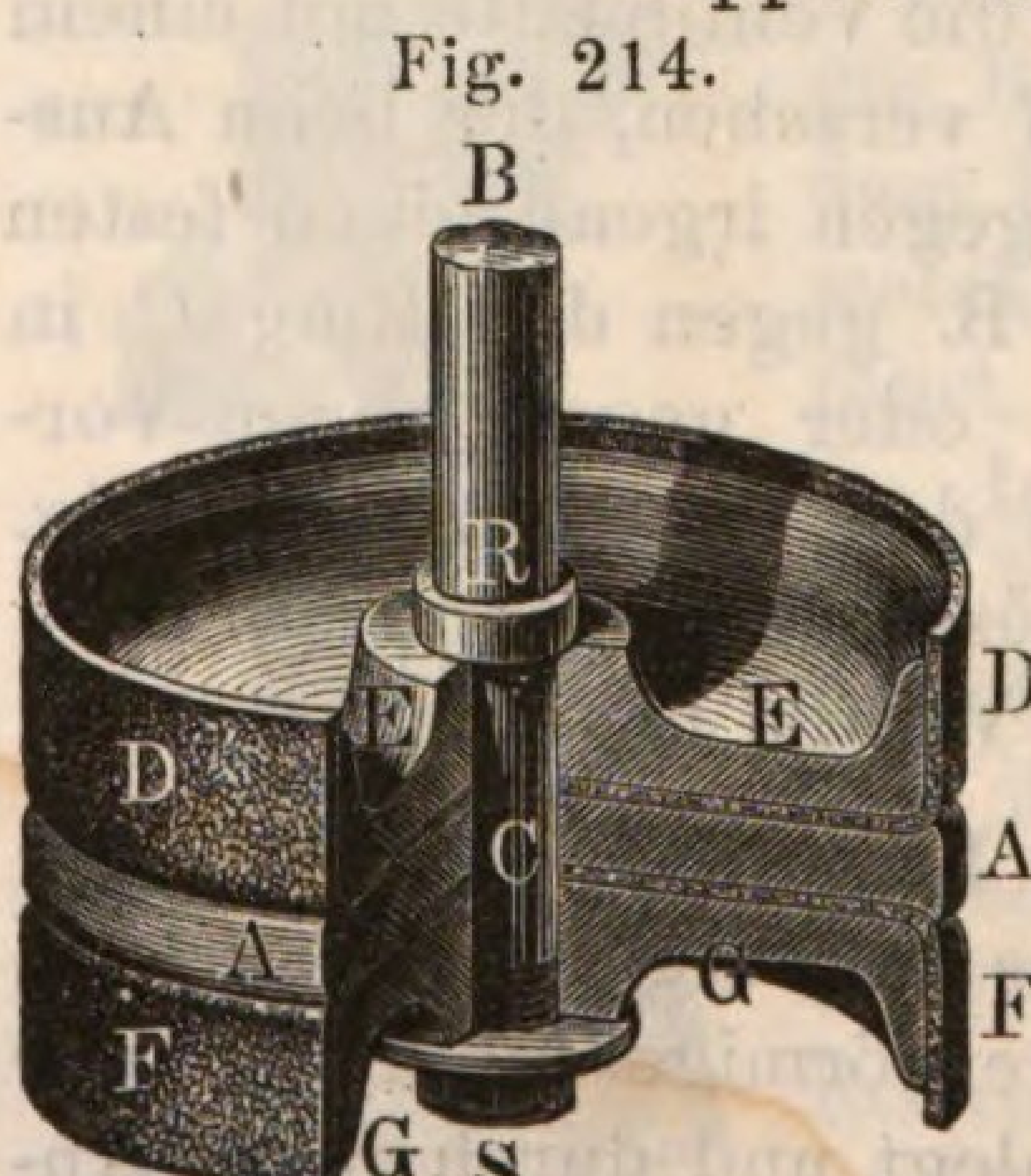
152 **Der Pumpenkolben** erhält seine Einrichtung und Form je nach der Natur der Pumpe und der Form des Stiefels, für welchen er bestimmt ist. Da in der Regel der Stiefel eine cylindrische Form hat, so bildet auch der Kolben einen Cylinder wie in Fig. 213, aber von viel geringerer Höhe, als der Stiefel.

Fig. 213.



Da der Kolben in den meisten Fällen sich dicht an die Wand des Stiefels anschliessen und doch bei seiner Bewegung möglichst wenig Reibung erzeugen soll, so umgiebt man denselben mit einer Liderung, die bei den gewöhnlichen Kaltwasserpumpen aus einem einfachen oder zusammengenähten Lederstulp, bei den Warmwasserpumpen aber aus Hanfzöpfen, Fig. 213, besteht. Die Einrichtung eines zweifachen für doppelt wirkende Pumpen bestimmten Lederstulpes ist aus der Fig. 214 zu ersehen. Es ist hier *AA* der eigentliche Kolbenstock, *BC* die durch denselben hindurchgehende Kolbenstange, *DD* der eine und *FF* der andere Lederstulp. Durch zwei Deckel *EE* und *GG* werden diese Theile vermittelst einer Schraube von unten nach oben gegen einen auf der Kolbenstange befestigten Ring *R* festgepresst und zu einem Ganzen vereinigt.

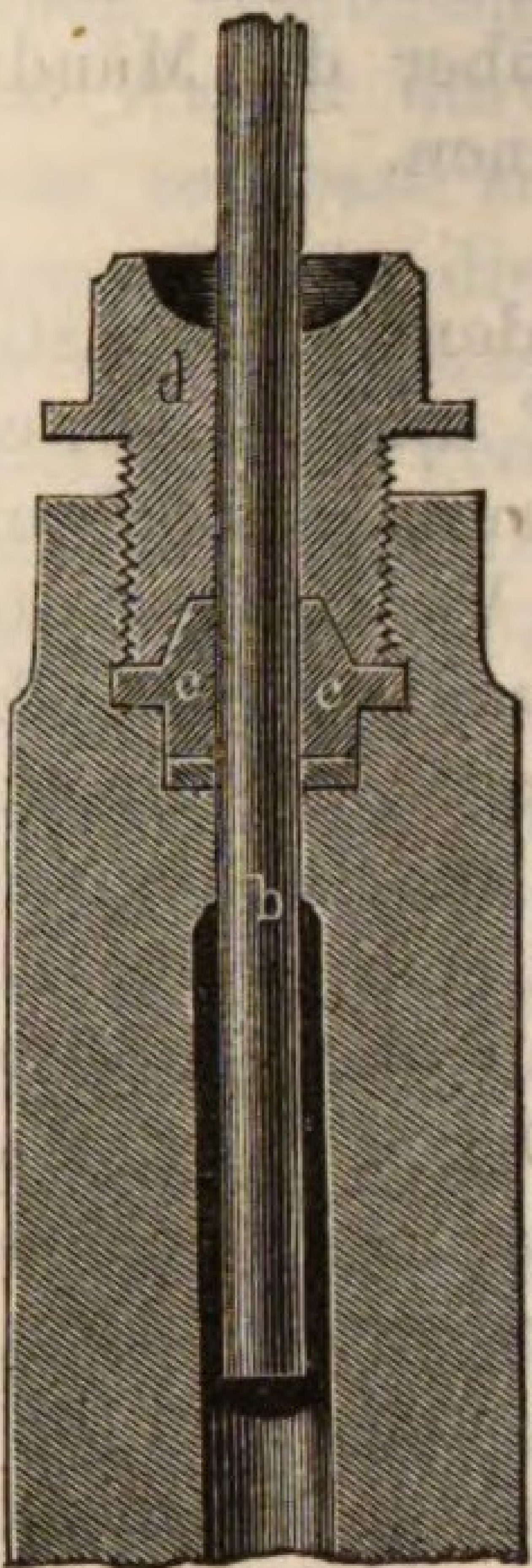
Fig. 214.



Anstatt den Kolben mit einer

Liderung zu versehen, ordnet man häufig in dem oberen Theile des Pumpenstiefels eine Dichtung oder Stopfbüchse an, durch welche sich die Kolbenstange luft- und wasserdicht hindurchbewegen kann, wie es Fig. 215 zeigt. Der Hals des Pumpenstiefels hat hierbei einen ausgedrehten Kragen, in welchem sich eine Hanfliderung *cc* vermittelst der Schraube *d* festpressen und durch geeignete, in die obere Aushöhlung des Schraubenkopfes anzubringende Schmiermittel vollkommen dichten lässt. Die Kolbenstange *b*, die zugleich den Kolben selbst bildet, geht durch die Hanfliderung der Stopfbüchse *cc* luftdicht hindurch, so dass sie sich auf- und abbewegen lässt, ohne dass die atmosphärische Luft zu dem Pumpenstiefel Zutritt hat. Kolben dieser Art heissen M ö n c h s k o l b e n oder P l u n g e r.

Fig. 215.



Im Gegensatze zu dem vorigen massiven Kolben hat man in vielen Fällen durchlochte und mit Ventilen versehene Kolben nöthig. Die Fig. 216 zeigt einen der einfachsten Ventilkolben. Der Kolbenstock *e* ist ein Holzcylinder, durch welchen der zur Aufnahme der Kolbenstange bestimmte Bügel *FEF* hindurchgeht. Die Oeffnung *B* des Kolbens ist mit einem gewöhnlichen Klappenventil *C* gedeckt, dessen Lederlappen durch den Ansatz des

Fig. 216.

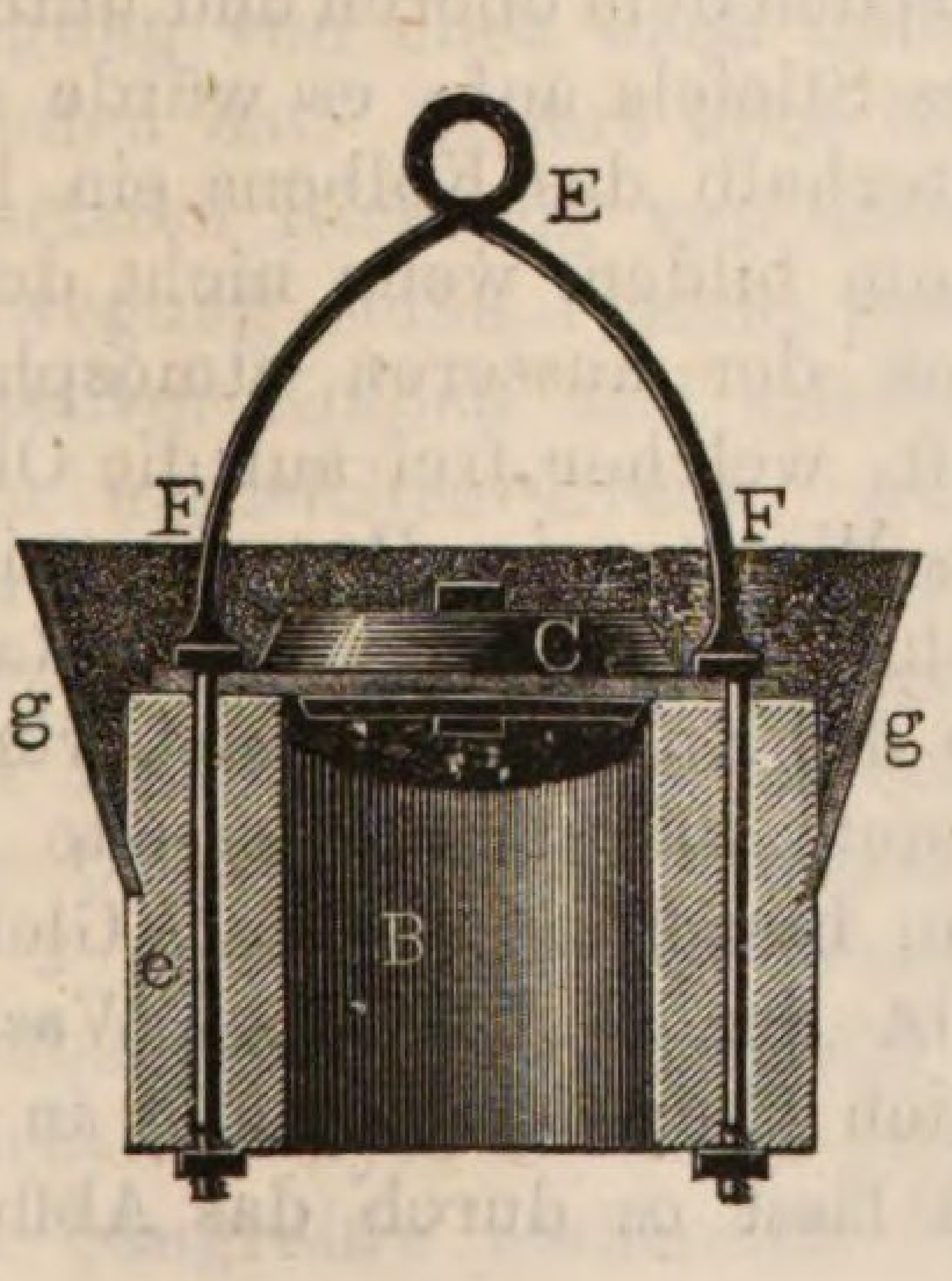
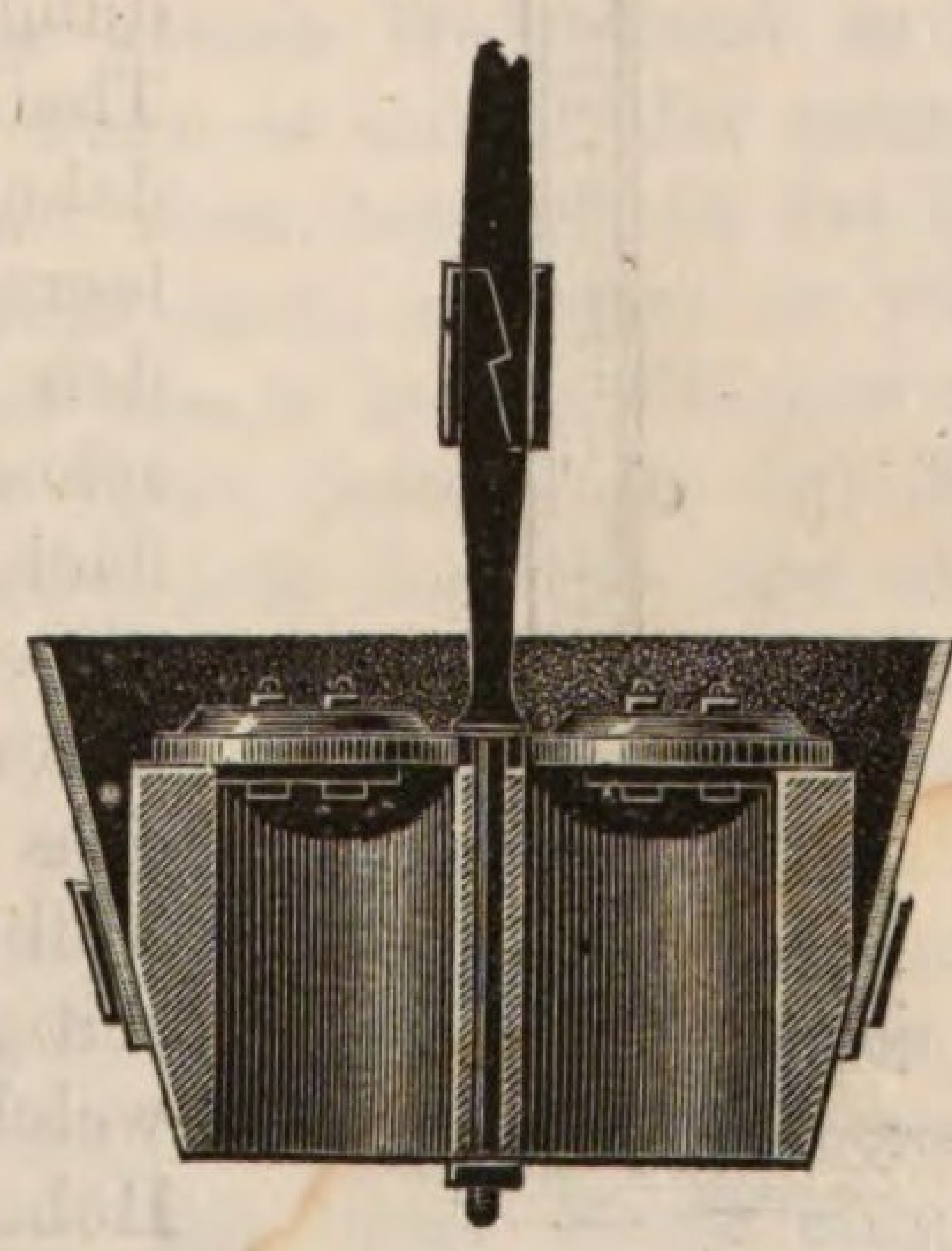


Fig. 217.

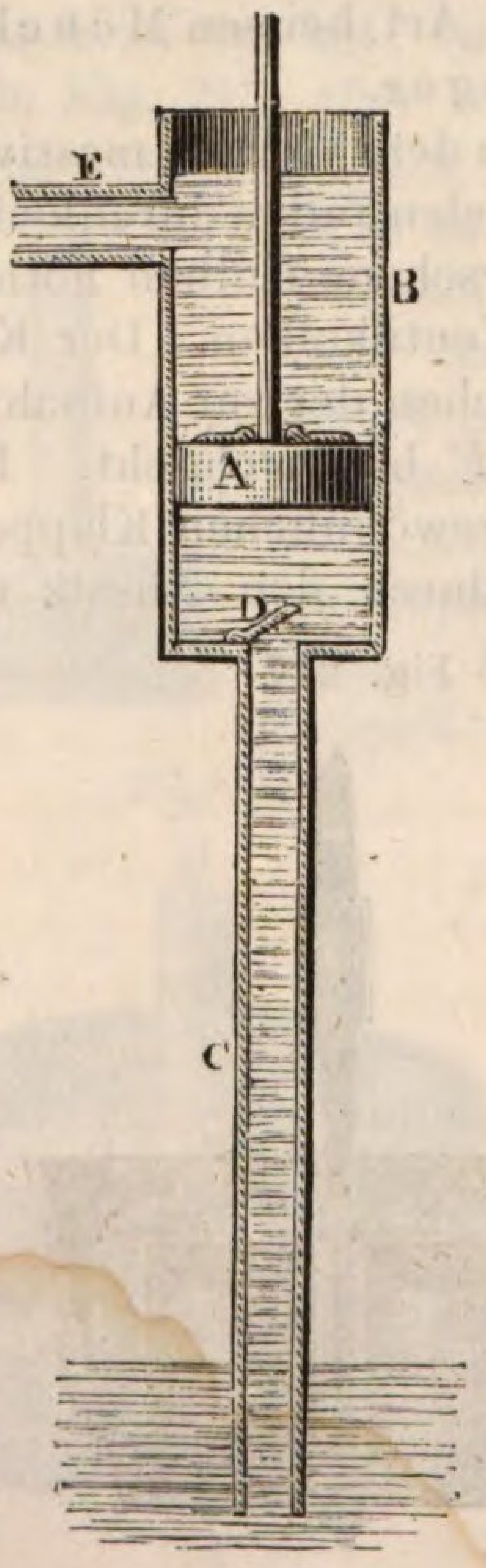


Bügels befestigt ist. Der Lederstulp *gg* ist rings um den Kolbenstock genagelt und an seinen beiden Enden zusammengenäht.

Grössere Pumpen bedürfen eines Kolbens mit zwei Ventilen, wie Fig. 217 (a. vor. S.) zeigt, in welchem Falle sich die beiden Ventile wie in Fig. 207 um einen quer über die Mündung der Kolbenöffnung gelegten Steg drehen können.

153 **Die Saugpumpe**, Fig. 218, besteht aus dem Pumpenstiefel *B*, in welchem sich der Ventilkolben *A* auf und ab bewegen kann, der Saugröhre *C*, welche bis in den Brunnen hinabreicht und durch ein Ventil *D* mit dem Stiefel in Verbindung steht, und dem nur wenig über dem höchsten Punkte des Kolbens liegenden Ausflussrohre *E*. Der Kolben ist hohl und mit einem oder zwei Ventilen versehen, wie sie in Fig. 216 und 217 abgebildet sind; sowohl diese, als das Ventil *D* öffnen sich in der Richtung von unten nach oben, und werden durch einen Druck in der entgegengesetzten Richtung geschlossen.

Fig. 218.



Nehmen wir zuerst an, die Pumpe sei bereits in Thätigkeit, und untersuchen wir, in welcher Weise durch das hin- und hergehende Spiel des Kolbens das Wasser aus dem Brunnen in die Höhe gehoben wird. Wenn der Kolben *A* in die Höhe gezogen wird, schliessen sich durch den Druck des darüber stehenden Wassers die Ventile desselben und heben die Verbindung zwischen dem oberen und unteren Theile des Stiefels auf; es würde sich daher unterhalb des Kolbens ein luftleerer Raum bilden, wenn nicht durch den Druck der äusseren atmosphärischen Luft, welcher frei auf die Oberfläche des Wassers im Brunnen wirkt, dieses gehoben und so in den Raum unterhalb des Kolbens gepresst würde, dass es stets mit der Unterseite des Kolbens in Berührung bleibt. Gleichzeitig hebt der Kolben das Wasser, welches sich über ihm befindet, in die Höhe und lässt es durch das Abfluss-

rohr *E* auslaufen. Während der aufwärts gerichteten Bewegung des Kolbens hält der Druck der Luft durch das in die Höhe steigende Wasser das Ventil *D* stets offen; wenn dagegen der Kolben herabgedrückt wird, so sucht das unter ihm befindliche Wasser durch das Ventil *D* wieder zu entweichen; allein dieses schliesst sich sofort durch den Druck von oben nach unten, der in dieser Richtung auf dasselbe ausgeübt wird; da nun das gepresste Wasser keinen anderen Ausweg findet, so öffnet es das Ventil im Kolben und tritt durch die Höhlung dieses letzteren über den Kolben. Wird darauf der Kolben von neuem in die Höhe gezogen, so hebt er wieder das über ihm stehende Wasser und lässt es bei *E* ablaufen, während zu gleicher Zeit eine neue Quantität Wasser aus dem Brunnen durch die Saugröhre *C* aufsteigt und in den Stiefel gelangt.

Bei einer genaueren Betrachtung dessen, was während der absteigenden Bewegung des Kolbens vor sich geht, bemerken wir leicht, dass die beiden Wassermassen, die sich oberhalb und unterhalb des Kolbens befinden, durch die offenen Kolbenventile frei mit einander communiciren und daher nahe einen gleichen Druck auf die beiden Seiten des Kolbens ausüben. Ein Unterschied in diesen beiden Druckkräften kann in der That nur davon herrühren, dass die beiden Kolbenflächen nicht gleich hoch im Stiefel stehen, und allenfalls von dem grösseren oder geringeren Widerstande, den die untere Flüssigkeit bei ihrem Durchgange durch die Kolbenventile findet. Man kann daher annehmen, da ausserdem das Gewicht des Kolbens in einer Richtung wirkt, welche der Resultirenden aus den eben genannten Kräften gerade entgegen wirkt, dass der Kolben bei seiner Bewegung von oben nach unten gar keinen Widerstand zu überwinden hat. Anders aber ist es, wenn er sich in der entgegengesetzten Richtung von unten nach oben bewegt; da bei dieser Bewegung seine Ventile geschlossen sind, so wirkt er wie ein massiver Kolben und erleidet auf seinen beiden Flächen einen sehr ungleichen Druck. Auf die obere Seite wirkt der Druck der atmosphärischen Luft und das Gewicht der über ihm stehenden Wassersäule; auf die untere Seite dagegen wirkt ebenfalls der Druck der atmosphärischen Luft, der sich zunächst nur auf die Oberfläche des Wassers im Brunnen äussert, allein nach §. 2 sich durch das Wasser im Saugrohr bis zur unteren Kolbenfläche ungeschwächt fortpflanzt; diesem Luftdruck aber wirkt der hydrostatische Druck des unterhalb des Kolbens und im Saugrohre stehenden Wassers mit einer Kraft entgegen,

welche gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule, die den unteren Querschnitt des Kolbens zur Basis und den verticalen Abstand dieser Kolbenfläche von dem Niveau des Brunnenwassers zur Höhe hat. Der Druck gegen die obere Seite des Kolbens ist daher bei seiner aufsteigenden Bewegung viel grösser, als gegen die untere Seite, und zwar ist der Unterschied dieser beiden Druckkräfte gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche den Querschnitt des Kolbens zur Basis und den verticalen Abstand der Ausflussöffnung E von dem Brunnenniveau zur Höhe hat.

Um dieses noch deutlicher einzusehen, bezeichnen wir den von der Luft auf die Fläche des Kolbens ausgeübten vollen Druck mit L, die Grösse der Kolbenfläche in Quadratzoll mit q, das Gewicht eines Kubikzolls Wasser mit m, die verticale Höhe der Ausflussöffnung E über den Kolben in irgend einer bestimmten Stellung desselben mit h, den verticalen Abstand des Brunnenniveaus von dem Kolben in derselben Stellung mit H (h und H in Zoll ausgedrückt), so ist offenbar der gesammte Druck auf die obere Seite des Kolbens $L + q \,.\, m \,.\, h$, dagegen der Druck gegen die untere Seite nur $L - q \,.\, m \,.\, H$, daher der Ueberdruck D gegen die obere Seite

$$D = L + q \cdot m \cdot h - (L - q \,.\, m \,.\, H) = q \,.\, m \,.\, h + q \,.\, m \,.\, H$$
$$= q \cdot m \, (h + H);$$

$q \cdot m \,.\, (h + H)$ bezeichnet aber das Gewicht einer Wassersäule, welche den Querschnitt q (Kubikzoll) zur Basis und $h + H$ (Zoll) zur Höhe hat, womit das Obige seine volle Bestätigung findet.

Man sieht hieraus, dass man, wenn von Reibung abgesehen wird und der Kolben direct und ohne Hebel in die Höhe gezogen werden soll, eine Kraft anwenden muss, die im Stande ist, den eben berechneten Ueberdruck auf die obere Kolbenfläche zu überwinden, und dass man daher nicht bloss das oberhalb des Kolbens stehende, sondern auch das unter demselben im Saugrohre befindliche und bis zum Brunnenniveau reichende Wasser heben oder ziehen muss.

Es folgt ferner hieraus, dass eine Saugpumpe nur dann wirksam sein kann, wenn die Entfernung der unteren Seite des Kolbens von dem Brunnenniveau nicht grösser ist, als die Höhe der Wassersäule, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten vermag, eine Höhe, welche nach §. 39 32 bis 33 Fuss beträgt. Wenn der Abstand des Kolbens von dem Brunnenniveau grösser wäre, als 32 Fuss, so würde das Wasser unter den günstigsten Verhältnissen bis auf diese Höhe aufstei-

gen, dann aber bei dem fortgesetzten Kolbenspiel stehen bleiben und dem Kolben nicht weiter folgen.

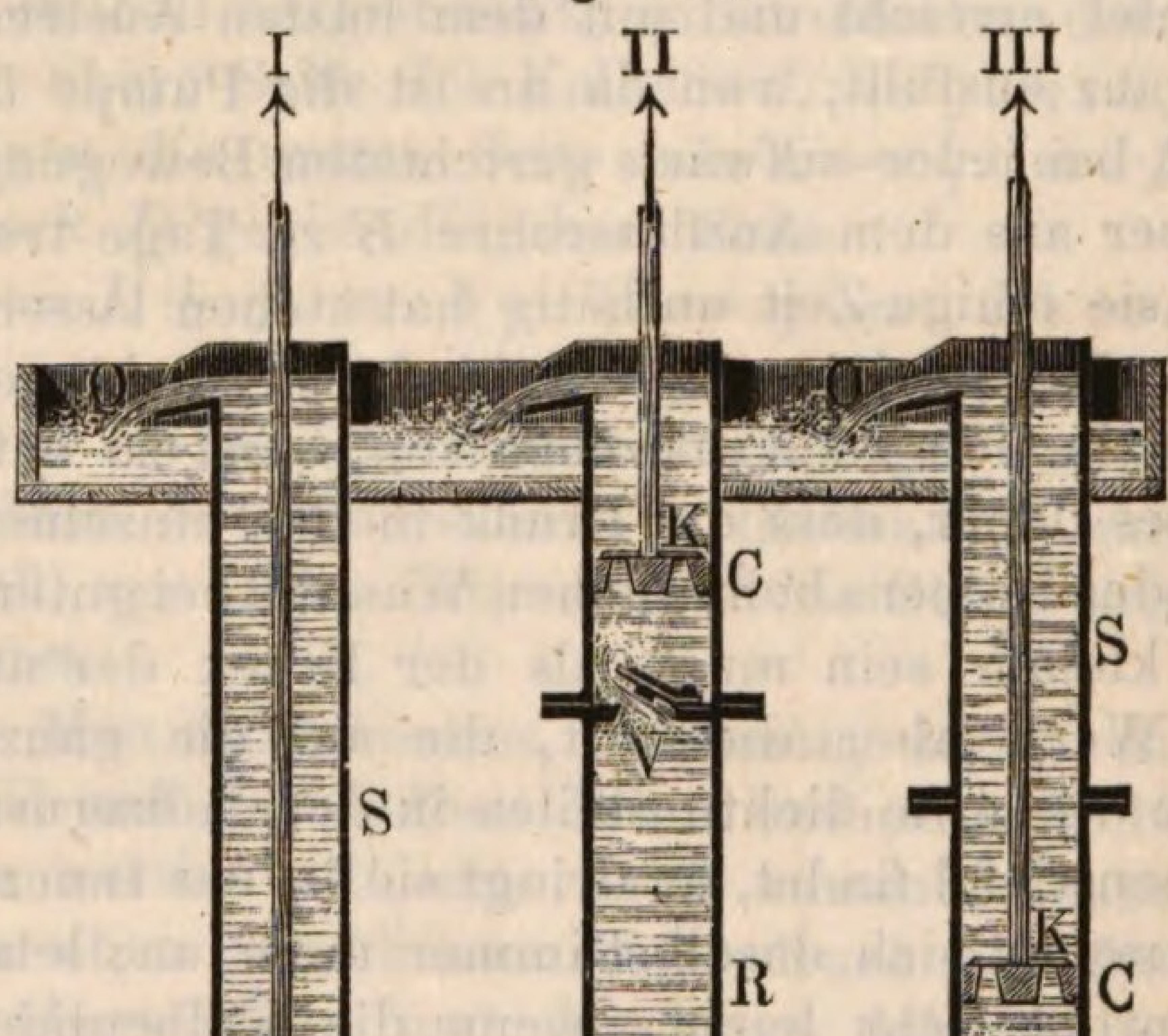
Wenn man eine Saugpumpe zuerst in Bewegung setzt, ist der Stiefel und das Saugrohr mit Luft angefüllt. Die ersten Kolbenzüge geben daher noch kein Wasser, vielmehr dienen sie nur dazu, in derselben Weise, wie es vorhin für das Wasser gezeigt worden ist, die eingeschlossene Luft aus dem Saugrohre in den Stiefel zu bringen und von da durch das Abflussrohr E an die äussere atmosphärische Luft zu entfernen. In dem Maasse aber, als dieses geschieht und dadurch in dem Saugrohre und dem unteren Theile des Stiefels ein luftverdünnter Raum erzeugt wird, nimmt auch die Spannkraft dieser verdünnten Luft ab, so dass der Ueberdruck der auf das Brunnenniveau wirkenden äusseren atmosphärischen Luft das Wasser bis auf eine gewisse Höhe in das Saugrohr treibt. Durch mehrmalige Wiederholung dieses Kolbenspiels steigt das Wasser in dem Saugrohre immer höher, bis es den Stiefel erreicht und mit dem letzten Austreiben der Luft diesen ganz ausfüllt; von da an ist die Pumpe in Wirksamkeit und lässt bei jeder aufwärts gerichteten Bewegung des Kolbens das Wasser aus dem Ausflussrohre E zu Tage treten, selbst wenn man sie einige Zeit unthätig hat stehen lassen.

Wenn jedoch eine Pumpe längere Zeit hindurch nicht gebraucht wird, so pflegt sie sich nach und nach von selbst zu entleeren; es kommt dieses daher, dass der Druck in den einzelnen Punkten des unterhalb des Kolbens befindlichen Wassers bei gutem Zustande der Pumpe kleiner sein muss, als der Druck der atmosphärischen Luft. Wenn aber die Luft, die auf die ganze Aussenseite der Pumpe wirkt, undichte Stellen in dem hölzernen oder metallenen Pumpenstiefel findet, so dringt sie in das Innere der Pumpe ein und sammelt sich daselbst immer mehr an; letzteres geschieht namentlich sehr leicht, wenn die Kolbenliderung nicht ganz vollkommen ist, wo dann die Luft zwischen dem Umfange des Kolbens und der Wand des Stiefels eindringt und unterhalb des Kolbens gelangt. In dem Maasse aber, als sich Luft unterhalb des Kolbens und im Saugrohre ansammelt, muss das Wasser durch den vermehrten inneren Druck aus dem Saugrohre wieder in den Brunnen zurücktreten, bis nach einer längeren oder kürzeren Zeit, je nachdem die Construction der Pumpe mit weniger oder mehr Sorgfalt ausgeführt worden st, das Saugrohr sich ganz entleert hat und das Wasser darin nicht höher als im Brunnen steht.

Wenn wir vorhin sagten, dass die Entfernung des Kolbens

von dem Brunnenniveau nicht mehr als 32 bis 33 Fuss betragen dürfe, so bezog sich dieses auf einen idealen Zustand der Pumpe, indem vorausgesetzt wurde, dass der Kolben dicht genug an den Stiefel anschliesse, die Ventile so luftdicht arbeiten, dass von aussen gar keine Luft in den Stiefel kommen könne und der Kolben im Stande sei, einen vollkommen luftleeren Raum zu erzeugen. In der Wirklichkeit aber trifft diese Voraussetzung nicht zu, vielmehr bedingen die Verhältnisse der Reibung einen weniger dichten Anschluss des Kolbens an die Wand des Stiefels; ausserdem aber kann die Construction der Pumpen, wenn sie nicht so genau wie eine Luftpumpe gearbeitet und dann sehr theuer sein sollen, nicht mit der Sorgfalt ausgeführt werden, welche ein vollständiger Abschluss der äusseren atmosphärischen Luft erheischen würde. Die Erfahrung lehrt, dass man selbst mit den besseren Saugpumpen das Wasser nicht höher als etwa 24 bis 25 Fuss aufsaugen kann; die Länge des Saugrohres darf daher auch diese Zahlen nicht überschreiten.

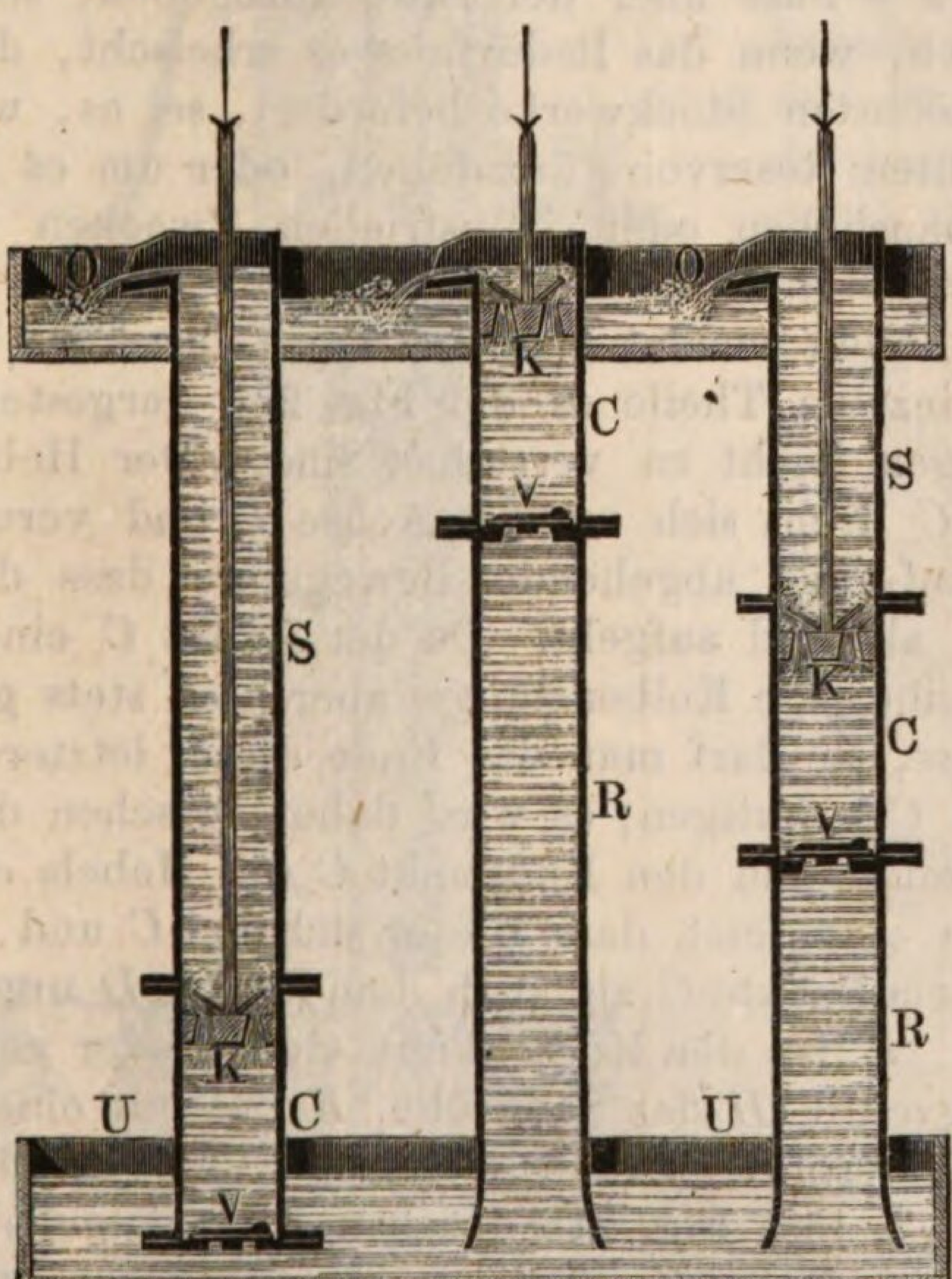
Fig. 219.



154 **Die Hubpumpe** ist der Saugpumpe fast ganz gleich, ihr Spiel und ihre Wirkungsweise ist dasselbe, wie bei der Saugpumpe, und der alleinige Unterschied besteht darin, dass das Saugrohr fehlt und der Pumpenstiefel unmittelbar in das zu hebende Wasser gestellt wird. Die Fig. 219 und Fig. 220 zeigen die Hubpumpe als solche in I, während II eine Saugpumpe, III dagegen eine Combination beider als Saug- und Hub-

pumpe darstellt. Bei allen drei Pumpen bezeichnet *K* den Kolben mit seinen beiden Ventilen, *C* den Pumpenstiefel, *V* das Saugventil, *UU* das Unterwasser, welches gehoben werden soll, *OO* das gehobene Oberwasser, *S* in I und III das Steigrohr, *R* in II und III das Saugrohr. Bei den in Fig. 219 dargestellten Stellungen der Pumpen ist der Kolben im Aufgange begriffen, und es sind daher die Kolbenventile durch den Ueberdruck auf die obere Seite des Kolbens geschlossen, dagegen die Saugventile *V* durch den Ueberdruck des Luftdruckes über den Druck des Wassers im Saugrohre geöffnet; es wird daher in diesen Stellungen einerseits das über dem Kolben befindliche Wasser gehoben und bei *O* zum Abfluss gebracht, andererseits gleichzeitig neues Wasser aus *UU* aufgesaugt. Bei den Stellungen I, II, III in Fig. 220 befindet sich dagegen der Kolben im Niedergehen; die Saugventile *V* sind daher geschlossen und die Kolbenventile geöffnet; es wird also kein neues Wasser aufgesaugt, sondern das im Stiefel unter dem Kolben befindliche Wasser wird durch die Kolbenventile gedrängt und oberhalb des Kolbens gebracht, um bei dem darauf folgenden Kolbenhube bei *O* abzufliessen.

Fig. 220.



Die Saug- und Hubpumpe. Die Pumpen, welche man für den häuslichen Bedarf anwendet, sind in der Regel einfache Saugpumpen; es sind Pumpen von der in §. 153 beschriebenen Art, in welchen ein Steigrohr nicht vorhanden ist, wenn man nicht die kleine Strecke des Stie- 155

fels und des Ausgussrohres, welche sich noch etwas über der höchsten Kolbenstellung befinden, als Steigrohr ansehen will. Mit einer solchen Pumpe lässt sich jedoch das Wasser nicht höher als etwa 24 Fuss über das Brunnenniveau emporheben. Ist der Brunnen sehr tief, so bleibt dann nichts übrig, als den Pumpenstiefel in den Brunnenschaft hinein zu verlegen und zwar so tief, dass das Saugventil nicht höher, als etwa 24 Fuss über dem Brunnenniveau zu stehen kommt. In diesem Falle hat das Ausflussrohr eine bedeutend höhere Lage über der höchsten Kolbenstellung, als es bei den gewöhnlichen Pumpen der Fall ist, so dass hier entweder der obere Theil des Stiefels das Steigrohr bildet, oder ein besonderes Steigrohr angebracht ist, um das von dem Kolben zu hebende Wasser aufzunehmen und zum Ausflussrohre zu führen.

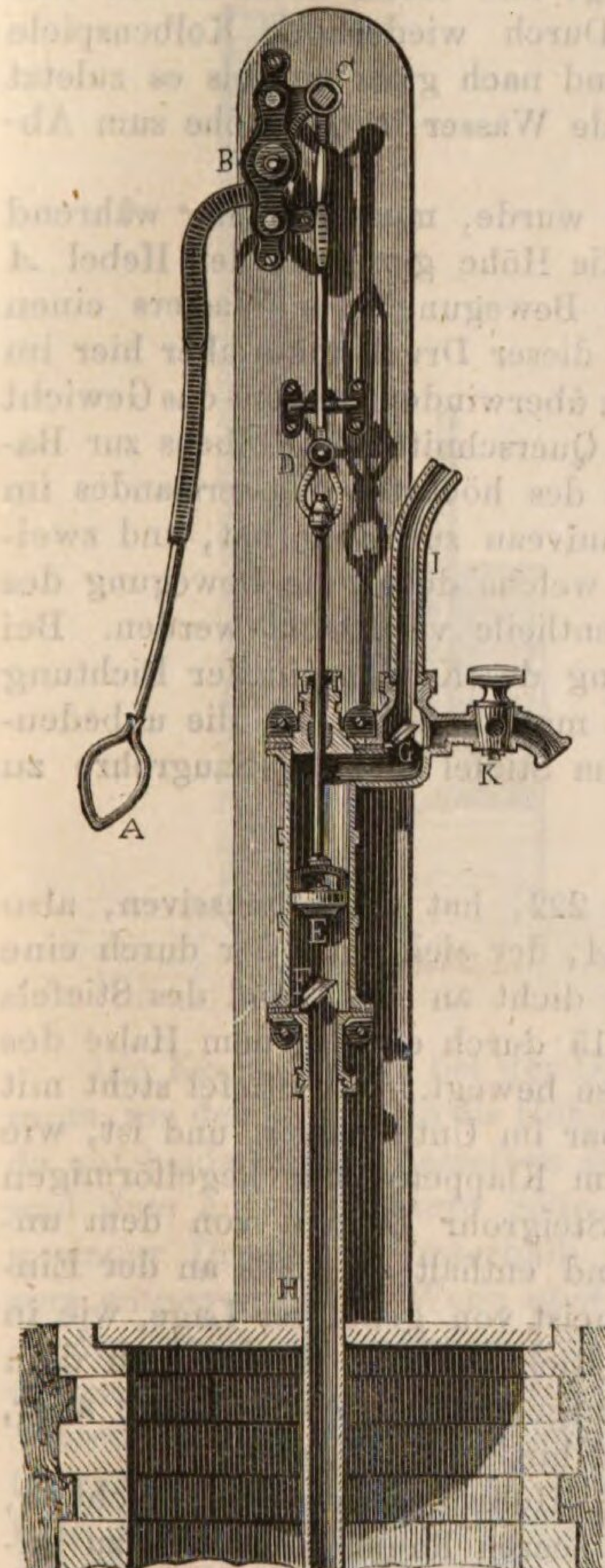
In anderen Fällen erscheint es wünschenswerth, dass die Pumpe nicht bloss im Stande ist, das Wasser in der gewöhnlichen Höhe von etwa 3 Fuss über der Erde abzugeben, sondern dass sie zugleich, wenn das Bedürfniss es erheischt, das Wasser bis in die höchsten Stockwerke befördert, sei es, um die daselbst aufgestellten Reservoirs anzufüllen, oder um es zu beliebigen anderen häuslichen oder industriellen Zwecken zu verwenden.

In allen solchen Fällen wendet man die Saug- und Hubpumpe an, deren einzelne Theile in der Fig. 221 dargestellt und nach dem Vorigen leicht zu verstehen sind. Der Hebel oder Schwengel *ABC* dreht sich um die Achse *B* und verursacht durch seine auf- und abgehende Bewegung, dass der Kolben entsprechend ab- und aufgeht. Da der Punkt *C* einen kleinen Kreis beschreibt, die Kolbenstange aber sich stets geradlinig bewegen muss, so darf man das Ende dieser letzteren nicht unmittelbar mit *C* befestigen; es wird daher zwischen das Ende *D* der Kolbenstange und den Endpunkt *C* des Hebels ein Zwischenstück *CD* so eingesetzt, dass dieses sich bei *C* und *D* drehen und sowohl dem Punkte *C* als auch dem Punkte *D* ungehindert folgen kann. *E* ist der Kolben mit einem oder zwei Ventilen, *F* das Saugventil, *H* das Saugrohr, *K* das mit einem Hahn versehene Ausgussrohr. Bis so weit ist Alles dasselbe, wie wir es bereits in §. 153, Fig. 218 gesehen haben, und die Pumpe wirkt, wenn der Hahn *K* offen ist, genau ebenso, wie wir es an jener Stelle bereits erklärt haben.

Von dem Ausgussrohre und zwar an einer zwischen dem Stiefel und dem Hahne *K* liegenden Stelle geht jedoch noch ein

besonderes Steigrohr *I* vertical aufwärts und endigt in einer Höhe, bis zu welcher das Wasser überhaupt gefördert werden soll. An der Stelle, wo dieses Steigrohr mit dem zum Stiefel führenden Rohre communicirt, befindet sich ein Ventil *G*, welches sich nur nach oben öffnet, und durch einen Druck von oben nach unten die Verbindung des Steigrohres mit dem Stiefel aufhebt.

Fig. 221.



Soll das Wasser nur durch den Hahn *K* abfliessen, so wird dieser geöffnet; die Pumpe wirkt dann, wie es bereits beschrieben ist, wobei das Wasser bei jedem Niedergange des Schwengels *A* durch den Hub des Kolbens aus *K* abfliesst.

Soll dagegen das Wasser auf die grössere Höhe gebracht werden, so verschliesst man vorher durch Umdrehen des Hahnes das Ausflussrohr. Das Wasser, welches nun bei jedem Kolbenhube gehoben wird, hat keinen weiteren Ausgang, als in das Steigrohr *I*; das Ventil *G* wird daher aufgestossen und das Wasser in das Steigrohr *I* gedrängt. Bei dem darauf folgenden Niedergange des Kolbens will zwar das eben gehobene Wasser wieder nachschiessen, allein es schliesst sich bei diesem Bestreben das Ventil *G* und das Wasser des Steigrohres bleibt auf dem geschlossenen Ventile *G* stehen. Während dieser Zeit dringt neues Wasser

durch den hohlen Kolben oberhalb desselben; wird dann der Kolben neuerdings in die Höhe gezogen, so wird dieses Wasser, nachdem es zuerst das Ventil *G* wieder aufgestossen hat, ebenfalls in das Steigrohr *I* gedrängt und dieses dadurch auf eine grössere Strecke angefüllt. Durch wiederholte Kolbenspiele füllt sich das Steigrohr nach und nach ganz an, bis es zuletzt überfliesst und das nachfolgende Wasser in der Höhe zum Abfluss gelangt.

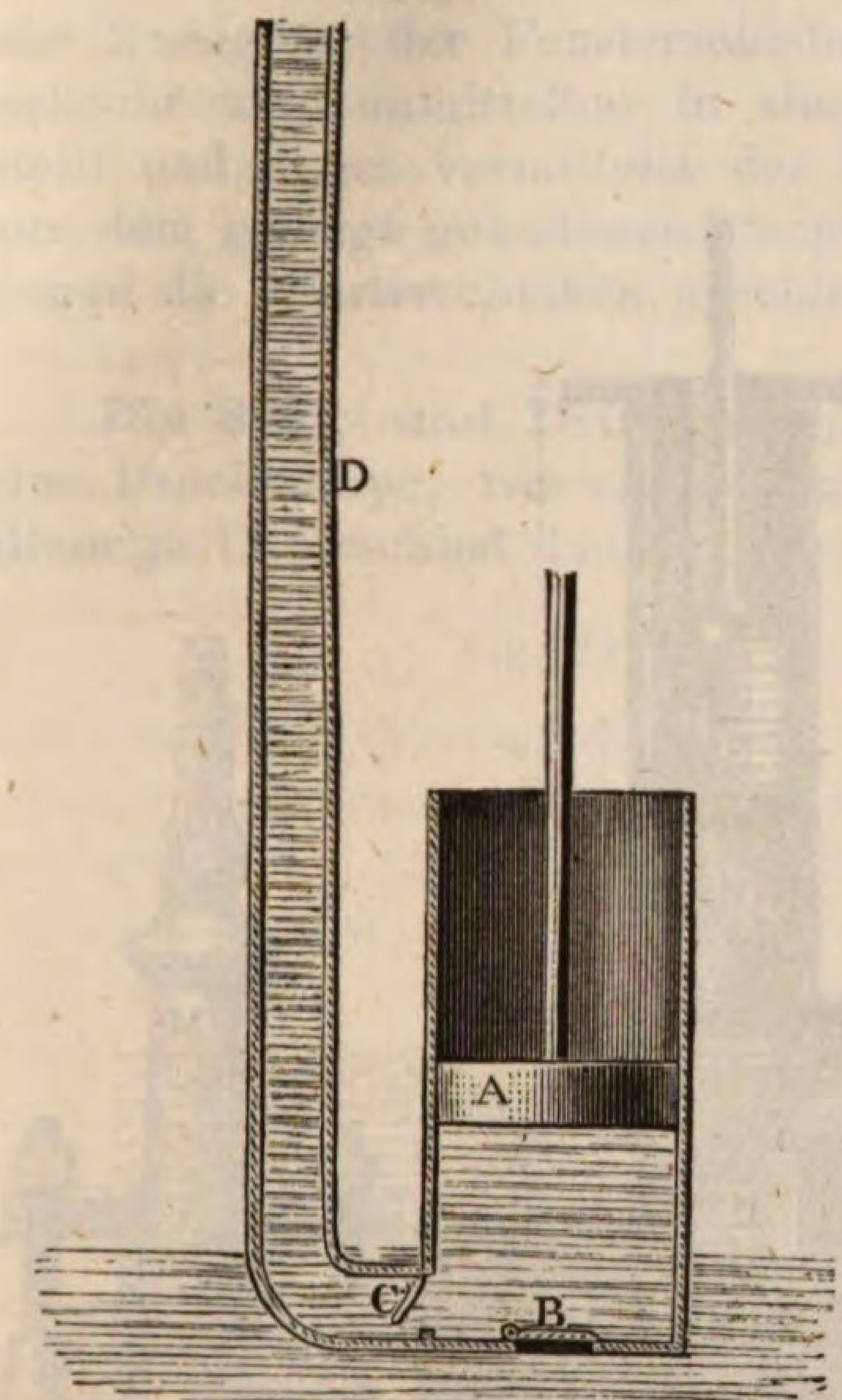
Wie bereits vorhin erklärt wurde, muss man nur während der Zeit, wo der Kolben in die Höhe gezogen, der Hebel *A* also herabgedrückt wird, zur Bewegung des Wassers einen Druck auf den Hebel ausüben; dieser Druck muss aber hier im Stande sein, zwei Widerstände zu überwinden: erstens das Gewicht einer Wassersäule, welche den Querschnitt des Kolbens zur Basis und den verticalen Abstand des höchsten Wasserstandes im Steigrohre *I* von dem Brunnenniveau zur Höhe hat, und zweitens die passiven Widerstände, welche durch die Bewegung des Wassers und der festen Pumpentheile verursacht werden. Bei der entgegengesetzten Bewegung des Kolbens in der Richtung von oben nach unten braucht man dagegen nur die unbedeutenden passiven Widerstände im Stiefel und im Saugrohre zu überwinden.

156 **Die Druckpumpe**, Fig. 222, hat einen massiven, also nicht durchbrochenen Kolben *A*, der sich entweder durch eine gute Hanf- oder Lederliderung dicht an die Wand des Stiefels anschliesst, oder wie in Fig. 215 durch eine in dem Halse des Stiefels angebrachte Stopfbüchse bewegt. Der Stiefel steht mit seinem unteren Ende unmittelbar im Unterwasser, und ist, wie bei der Saugpumpe, mit einem Klappen- oder kegelförmigen Saugventil *B* versehen. Das Steigrohr *D* geht von dem unteren Theile des Stiefels aus und enthält ebenfalls an der Einmündungsstelle ein Ventil *C*, meist von geneigter Lage, wie in Fig. 208, welches sich in der Richtung vom Stiefel nach dem Steigrohr hin öffnet, in der entgegengesetzten Richtung aber, vom Rohre *D* nach dem Stiefel hin, sich schliesst.

Wenn der Kolben *A* in die Höhe gezogen wird, sucht er, wie bei der Saugpumpe, einen leeren Raum unter sich zu bilden, das Ventil *B* hebt sich und es dringt, vom Druck der äusseren atmosphärischen Luft getrieben, das Wasser, in welchem die Pumpe steht, in den Stiefel. Drückt man darauf den Kolben wieder herab, so schliesst sich das Ventil *B*, das Wasser

wird einen Augenblick zusammengepresst und schafft sich durch Oeffnen des Ventils *C* einen Ausweg in das Steigrohr *D*. Wiederholte Kolbenspiele treiben auf diese Weise das Wasser in dem Steigrohre *D* immer mehr in die Höhe, bis es diejenige Höhe erreicht hat, wo es zur weiteren Benutzung abfliessen soll; es versteht sich übrigens von selbst, dass das Steigrohr ebenso gut eine horizontale Lage haben kann.

Fig. 222.

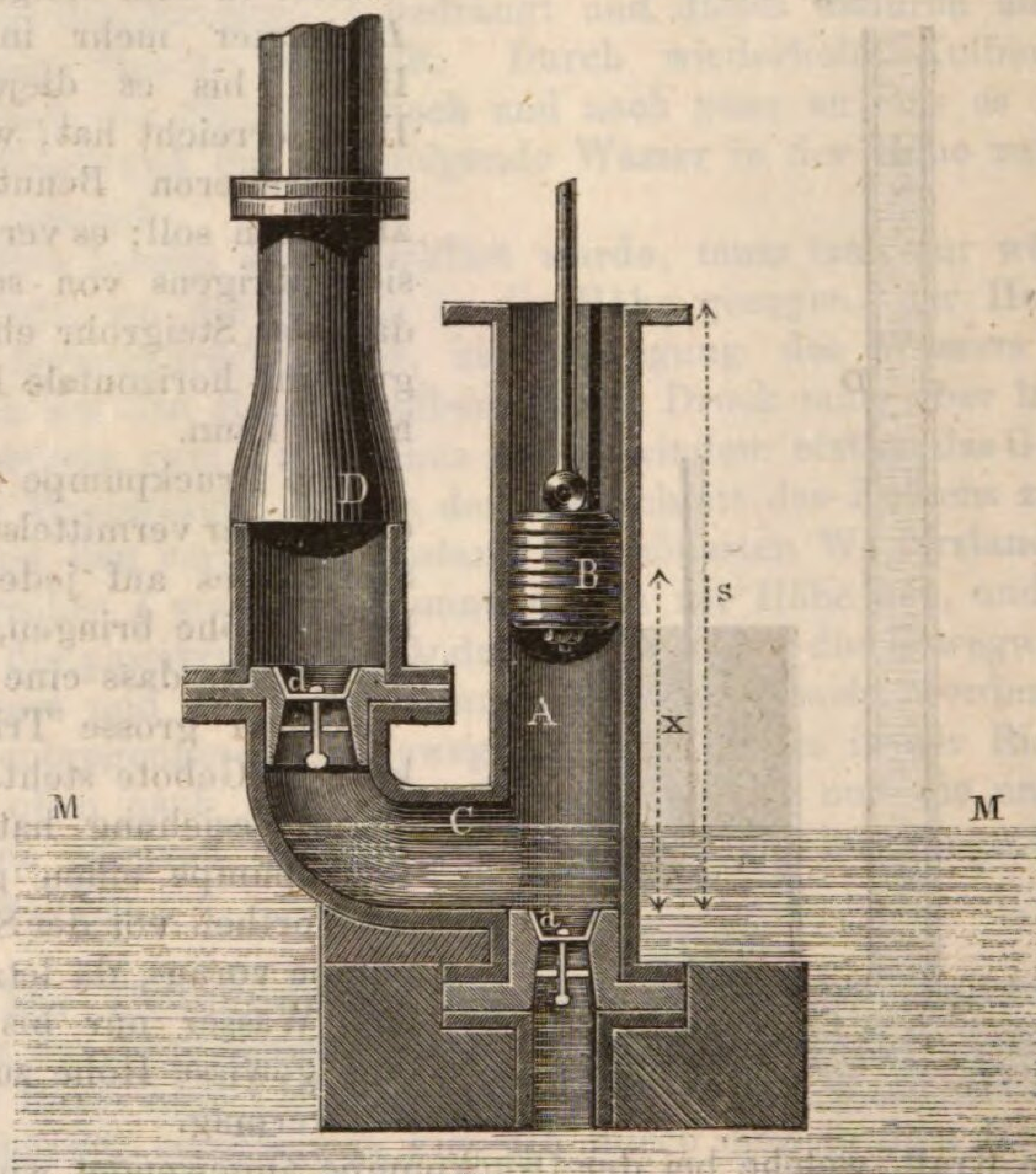


Die Druckpumpe kann das Wasser vermittelst des Steigrohres auf jede beliebige Höhe bringen, vorausgesetzt, dass eine hinreichend grosse Triebkraft zu Gebote steht. In dieser Beziehung hat die Druckpumpe einen grossen Vortheil vor der Saugpumpe voraus, da letztere das Wasser nur bis auf eine gewisse Höhe zu heben vermag.

Die Kraft, welche bei der Druckpumpe angewendet werden muss, um den Kolben in die Höhe zu ziehen, ist nicht bedeutend, da auf beiden Seiten desselben ein gleich grosser Luftdruck wirkt und dem auf die untere Seite wirksamen Luftdruck nur ein geringer Druck des unterhalb des Kolbens befindlichen Wassers entgegenwirkt. Wenn aber der Kolben herabgeht, so hat er den Druck des entgegenstehenden Wassers im Steigrohre zu überwinden, einen Druck, der um so grösser ist, je höher das Wasser in dem Steigrohre steht; dieser Druck ist gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche den Querschnitt des Kolbens zur Basis und den verticalen Abstand der unteren Seite des Kolbens von dem höchsten Stande des Wassers im Steigrohre zur Höhe hat. Zu diesem Druck kommen dann noch die Widerstände der Reibung des Kolbens und des Wassers an den Wänden des Stiefels und des Steigrohres.

Die speciellere Einrichtung einer wirklichen Druckpumpe ist aus der Fig. 223 zu ersehen. Die Pumpe steht wieder im

Fig. 223.



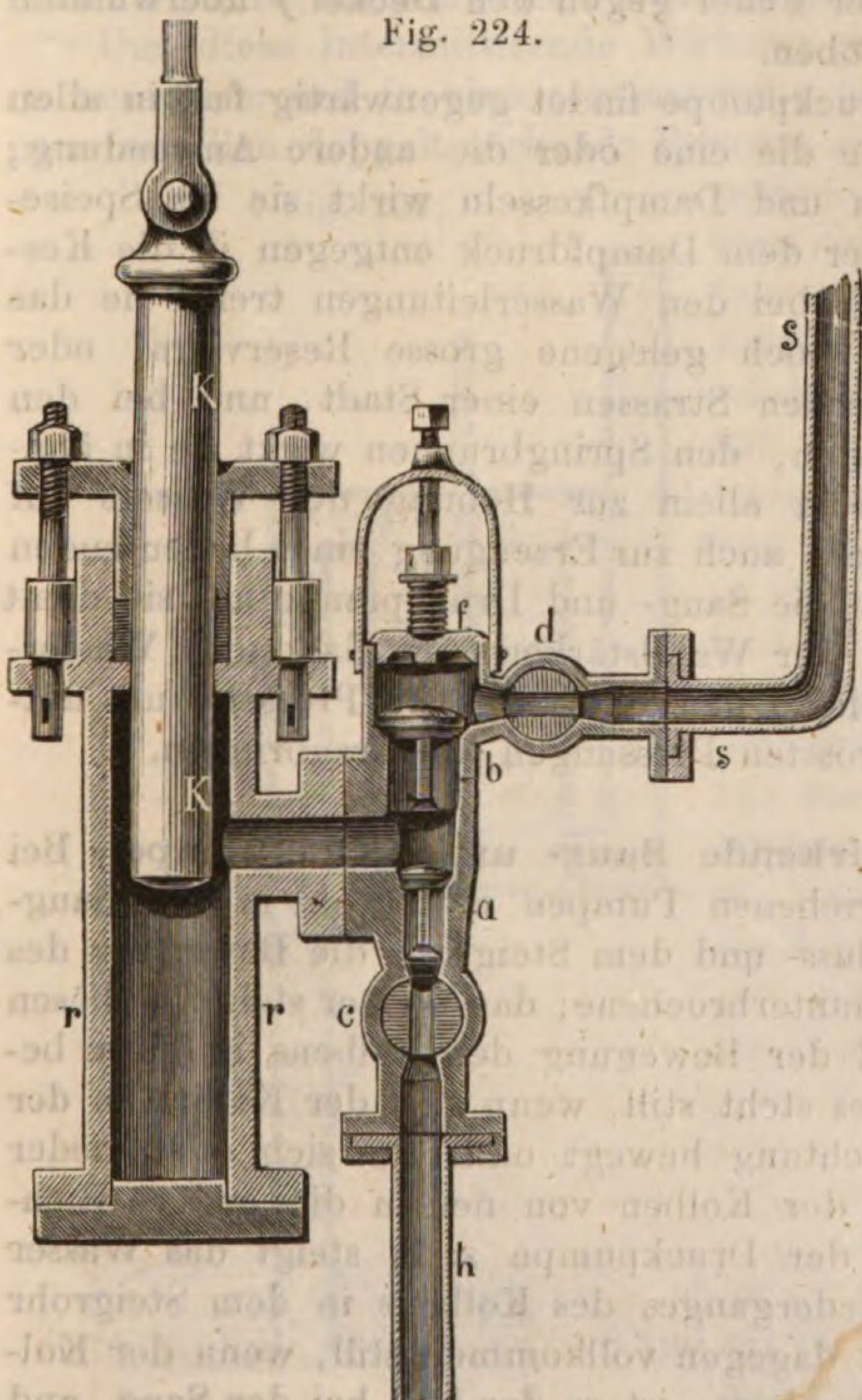
Unterwasser *MM*, welches im ruhenden Zustande der Pumpe bis zur Höhe des äusseren Wasserspiegels *MM* in dem Stiefel *A* steht. Ein Saugen des Wassers fällt daher hier fast ganz fort und die Wirkung der Pumpe besteht ausschliesslich darin, dass bei jedem Niedergange des Kolbens *B* das Ventil *a* sich schliesst und das gepresste Wasser durch das aufgestossene Ventil *d* in das Steigrohr *D* gedrängt wird. Wenn der Kolben wieder in die Höhe gezogen wird, schliesst sich das Ventil *d* durch den Druck des im Steigrohre befindlichen Wassers, wogegen neues Wasser durch das Ventil *a* wieder in den Stiefel eindringt.

Da es selten möglich ist, den Stiefel unmittelbar in das Unterwasser zu stellen und, wenn dieses geschieht, leicht Un-

reinigkeiten zwischen die Ventile und ihre Sitze gelangen, wodurch die Wirksamkeit der Pumpe geschwächt oder ganz aufgehoben wird, so finden die eigentlichen Druckpumpen nur wenig Anwendung. In Holland wendet man z. B. dieselben zur Reinigung der Fensterscheiben an; das messingene Pumpenrohr wird unmittelbar in einen Eimer reinen Wassers gestellt und dieses vermittelst der Pumpe in kräftigen Strahlen aus dem geneigt gehaltenen Steigrohr von 3 bis 4 Fuss Länge gegen die Fensterscheiben geschleudert.

Die Saug- und Druckpumpe ist in allen ihren Theilen eine Druckpumpe, wie sie soeben beschrieben worden ist; der alleinige Unterschied besteht darin, dass der Stiefel nicht un- 157

Fig. 224.



mittelbar in das Unterwasser gestellt wird, sondern wie bei der Saugpumpe mit einem Saugrohr versehen ist, welches in das zu hebende Wasser hinabreicht. Eine solche sehr häufig angewandte Pumpe ist in Fig. 224 abgebildet. In dem Pumpenstiefel *r r* bewegt sich ein massiver Kolben *K K* (T a u c h e r k o l b e n oder P l u n g e r) durch eine im Halse des Stiefels befindliche Stopfbüchse; *h* ist das Saugrohr, *a* das Saugventil, *s s* das Steigrohr, *b* das Ventil des letzteren, *c* und *d* sind Hähne, die man abstellen kann, wenn die

Pumpe nicht mehr arbeiten soll; durch *c* kommt dann Luft in das Saugrohr, die das darin befindliche Wasser in den Brunnen zurücktreibt, durch *d* kann das in dem Steigrohre *ss* befindliche Wasser abgelassen werden. Der mittelst einer starken Feder auf eine Oeffnung des Steigrohrs festgepresste Deckel *f* kann durch Lösung der auf die Feder wirkenden oberen Schraube leicht entfernt werden und dient einestheils dazu, um in das Innere der Pumpe gelangen und die Ventile nachsehen zu können, anderntheils aber zur Sicherung der Pumpe; wenn nämlich der Druck im Innern der Pumpe zu stark werden sollte, was geschehen kann, wenn entweder das Steigrohr sich verstopft hat oder zugefroren ist, oder wenn der Hahn *d* geschlossen bleibt, während *e* offen ist und die Pumpe in Thätigkeit gesetzt wird, so wird der Druck der Feder gegen den Deckel *f* überwunden und dieser selbst gehoben.

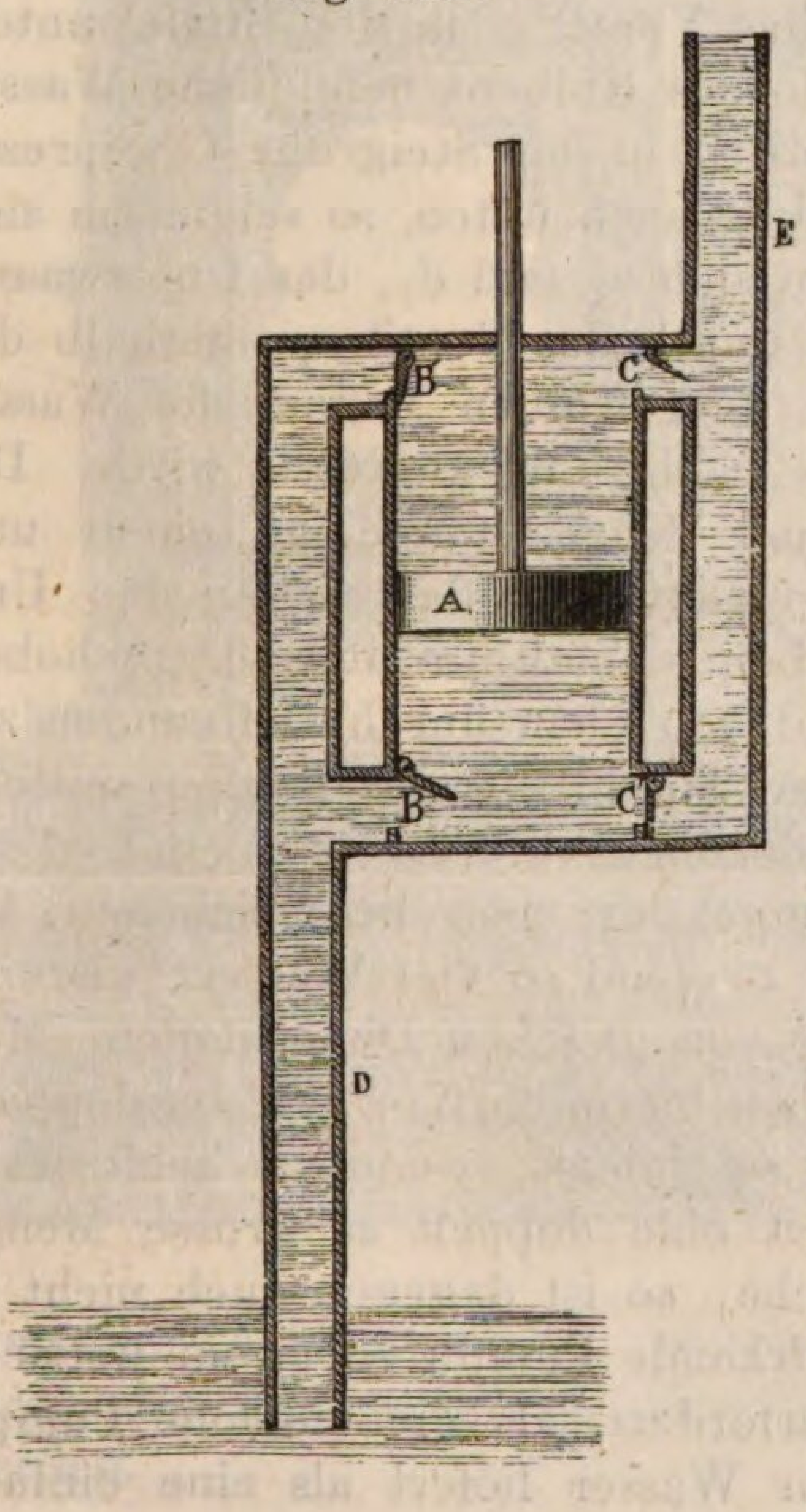
Die Saug- und Druckpumpe findet gegenwärtig fast in allen Zweigen der Industrie die eine oder die andere Anwendung; bei den Locomotiven und Dampfkesseln wirkt sie als Speisepumpe, um das Wasser dem Dampfdruck entgegen in die Kessel hinein zu pressen; bei den Wasserleitungen treibt sie das Wasser entweder in hoch gelegene grosse Reservoirs, oder direct in die entlegensten Strassen einer Stadt, und bei den grösseren Wasserkünsten, den Springbrunnen wirkt sie in ähnlicher Art. Aber nicht allein zur Hebung des Wassers auf grössere Höhen, sondern auch zur Erzeugung eines bedeutenden Druckes wendet man die Saug- und Druckpumpe an; sie dient daher zur Probirung der Wandstärken von Gas- und Wasserleitungsröhren, so wie in den hydraulischen Pressen, um mittelst derselben die grössten Pressungen hervorzubringen.

158 **Die doppelt wirkende Saug- und Druckpumpe.** Bei allen bis jetzt beschriebenen Pumpen ist sowohl in dem Saugrohr, als in dem Abfluss- und dem Steigrohr die Bewegung des Wassers nicht eine ununterbrochene; das Wasser steigt in diesen Röhren nur während der Bewegung des Kolbens in einer bestimmten Richtung; es steht still, wenn sich der Kolben in der entgegengesetzten Richtung bewegt und setzt sich erst wieder in Bewegung, wenn der Kolben von neuem die erstere Richtung einschlägt. In der Druckpumpe z. B. steigt das Wasser nur während des Niederganges des Kolbens in dem Steigrohr in die Höhe, es steht dagegen vollkommen still, wenn der Kolben in die Höhe geht; ebenso ist es der Fall bei der Saug- und

Hubpumpe (§. 155); während eines Kolbenhubes bewegt sich das Wasser im Saugrohr und im Abflussrohr, während des Niederganges des Kolbens dagegen steht sowohl das Wasser im Steigrohr als im Ausflussrohr still, es sei denn, dass letzteres einen viel kleineren Querschnitt habe als der Stiefel, und der Kolbenhub zu schnell erfolgt sei, als dass das über das Abflussrohr gehobene Wasser schnell genug aus diesem ausfliessen könne. Aus dieser intermittirenden Bewegung des Wassers entsteht aber ein Arbeitsverlust, einmal weil es sich aus dem Zustande der Ruhe plötzlich in Bewegung zu setzen hat, was der Wirkung eines Stosses gleich kommt, und dann, weil die Geschwindigkeit, welche es bei seiner Bewegung in den Röhren hat, jedesmal nutzlos verloren geht und eine neue Arbeitsleistung erforderlich ist, um ihm diese Geschwindigkeit wieder zu ertheilen.

Um diese intermittirende Wirkung der einfachen Pumpen zu beseitigen und in eine continuirliche zu verwandeln, wendet man zuweilen doppelt wirkende Pumpen an, bei welchen sowohl während des Hubes, als während des Niederganges des Kolbens das Wasser gleichzeitig aufgesaugt und ausgegossen wird. Der Kolben A, Fig. 225, ist dann wie bei den einfachen Druckpumpen massiv, und lässt sich wie gewöhnlich in einem Stiefel luftdicht auf und ab bewegen. Der Stiefel steht durch vier Ventilöffnungen B, C und B', C' einerseits mit dem Saugrohr D, andererseits mit dem Steigrohr E in Verbindung. Wenn der Kolben A in die Höhe gezogen wird, so schliessen sich die Ventile B' und C', die anderen dagegen B und C öffnen sich; das Unterwasser steigt durch D und B unter den Kolben, während das darüber befindliche Wasser durch C in das Steigrohr E gedrückt wird. Wenn darauf

Fig. 225.



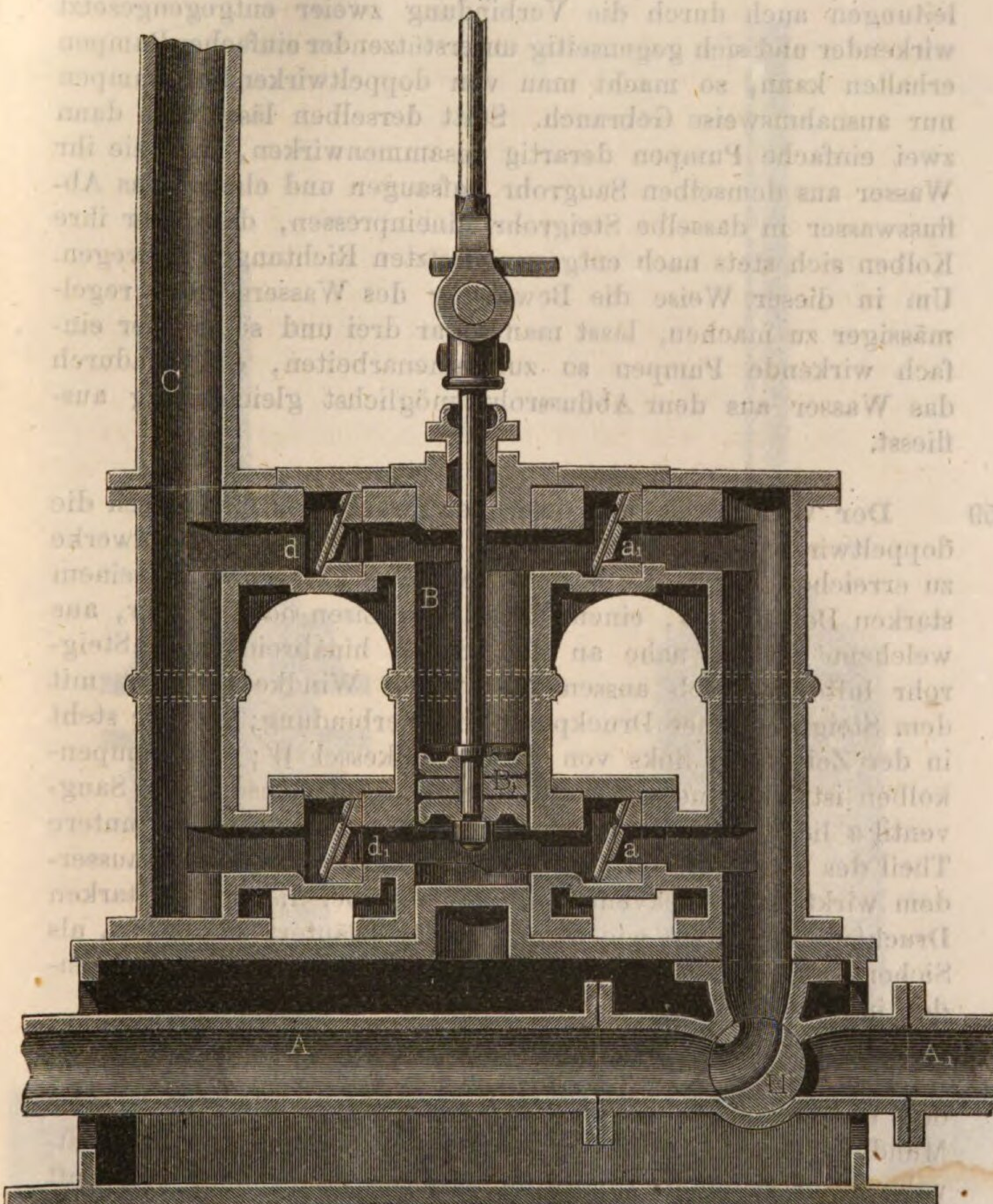
der Kolben A herabgeht, so schliessen sich die Ventile B und C, wogegen B' und C' sich öffnen; das unter dem Kolben befindliche Wasser wird jetzt durch C' in das Steigrohr gepresst, wogegen das Unterwasser durch D und B' in den Stiefel oberhalb des Kolbens gelangt. Das Wasser ist hiernach also sowohl in dem Saugrohr D, als in dem Steigrohr E fortwährend in Bewegung und der oben erwähnte Verlust an Arbeit vermieden.

Die speciellere Anordnung der einzelnen Theile einer doppelt wirkenden Saug- und Druckpumpe, wie sie von Borsig in Berlin ausgeführt wird, ist aus der Fig. 226 zu ersehen. Die Pumpe hat zwei Saugrohre A und A_1, von denen jedes durch den Hahn H mit der Pumpe in Verbindung gebracht werden kann, so dass die Pumpe zeitweise zur Förderung von kaltem, wie von warmem Wasser benutzt werden kann. Der Stiefel B ist hierbei $5^1/_4$ Zoll weit, die Hubhöhe des Kolbens beträgt 8 Zoll, die Weite der Saugröhre A, A_1 und des Steigrohrs C 3 Zoll. Bei jedem Kolbenhube schliessen sich die Ventile a_1 und d_1, es öffnen sich a und d, das Unterwasser gelangt daher durch A oder A_1 und durch das Ventil a in den Stiefel unterhalb des Kolbens, das oberhalb des Kolbens befindliche Wasser wird dagegen durch das Ventil d in das Steigrohr C gepresst. Bewegt sich dagegen der Kolben nach unten, so schliessen sich die Ventile a und d, es öffnen sich a_1 und d_1, das Unterwasser gelangt durch A oder A_1 und durch das Ventil a_1 oberhalb des Kolbens, während das unter dem Kolben befindliche Wasser durch das Ventil d_1 in das Steigrohr gepresst wird. Die Kolbenstange ist mittelst einer Kurbelstange an einen umlaufenden Krummzapfen eingelenkt, so dass bei jeder Umdrehung des letzteren der Kolben einmal hin- und hergeschoben wird. Die Ventilkammern sind von oben durch Oeffnungen zugänglich, welche während der Thätigkeit der Pumpe mittelst aufgeschraubter Deckel verschlossen sind.

Eine doppeltwirkende Pumpe der eben beschriebenen Art liefert bei jedem Kolbenspiele zweimal so viel Wasser, als eine einfach wirkende Druckpumpe von gleichen Dimensionen. Man muss indessen nicht glauben, dass hierin ein Vortheil der doppeltwirkenden Pumpe zu suchen sei; denn, wenn es auch wahr ist, dass sie in derselben Zeit eine doppelt so grosse Menge Wasser liefert als eine einfache, so ist dagegen auch nicht zu übersehen, dass die doppeltwirkende Pumpe zu ihrem Betriebe auch doppelt so viel Arbeit erfordert, als die einfache Pumpe, und dass sie daher nicht mehr Wasser liefert als eine einfach

wirkende Pumpe von doppelten Dimensionen. Der einzige Vortheil der doppelt wirkenden Pumpen besteht in der Vermei-

Fig. 226.



dung der Arbeitsverluste, welche bei den einfachen Pumpen durch die intermittirende Bewegung des Wassers verursacht werden.

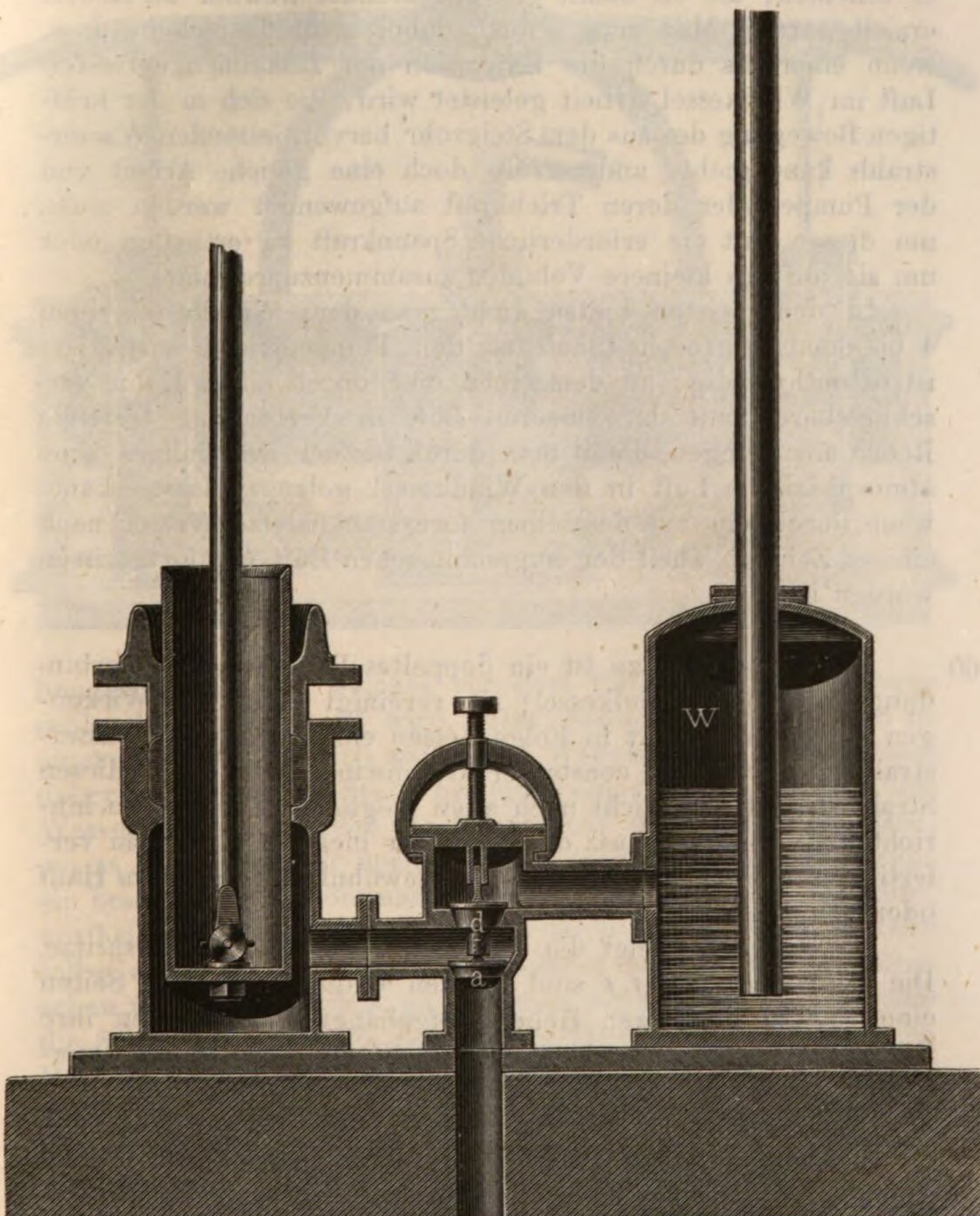
Da die Reinhaltung der vier Ventile auf die Dauer mit Schwierigkeiten verknüpft ist, und man dieselbe Leistung, so wie die continuirliche Bewegung des Wassers in den Röhrenleitungen auch durch die Verbindung zweier entgegengesetzt wirkender und sich gegenseitig unterstützender einfacher Pumpen erhalten kann, so macht man von doppeltwirkenden Pumpen nur ausnahmsweise Gebrauch. Statt derselben lässt man dann zwei einfache Pumpen derartig zusammenwirken, dass sie ihr Wasser aus demselben Saugrohr aufsaugen und ebenso das Abflusswasser in dasselbe Steigrohr hineinpressen, dass aber ihre Kolben sich stets nach entgegengesetzten Richtungen bewegen. Um in dieser Weise die Bewegung des Wassers noch regelmässiger zu machen, lässt man sogar drei und selbst vier einfach wirkende Pumpen so zusammenarbeiten, dass dadurch das Wasser aus dem Abflussrohr möglichst gleichmässig ausfliesst.

159 **Der Windkessel** hat denselben Zweck, den man durch die doppeltwirkenden oder die zwei-, drei-, vierfachen Druckwerke zu erreichen sucht. Er besteht, wie Fig. 227 zeigt, aus einem starken Behälter *W*, einem Kessel von Eisen oder Kupfer, aus welchem ein bis nahe an den Boden hinabreichendes Steigrohr luftdicht nach aussen führt. Der Windkessel steht mit dem Steigrohr einer Druckpumpe in Verbindung; letztere steht in der Zeichnung links von dem Windkessel *W*; der Pumpenkolben ist hohl und geht durch eine Stopfbüchse. Das Saugventil *a* liegt unter dem Druckventil *d*, wobei der hohle untere Theil des letzteren den Steg für das Saugventil *a* bildet; ausserdem wirkt das Druckventil mit der darüber liegenden starken Druckfeder ganz so, wie es in Fig. 224 erläutert worden ist, als Sicherheitsventil gegen die Wirkungen eines zu stark werdenden inneren Druckes.

Die Wirkung dieses Windkessels besteht nun in Folgendem: Nach einem oder zwei Kolbenspielen, wodurch das Wasser in den Windkessel gebracht wird, steigt dieses über die untere Mündung des Steigrohrs und sperrt die Communication des Luftvolums im Windkessel von der äusseren atmosphärischen Luft ab. Wenn nun durch die fortgesetzte Wirkung der Pumpe neues Wasser in den Windkessel hineingepresst wird, so steigt dieses daselbst noch höher und presst die darin abgesperrte Luft auf ein kleineres Volumen zusammen. In demselben Maasse aber, als dieses geschieht, nimmt auch die Spannkraft oder der Druck

dieser Luft zu (§. 43). Dieser Druck aber wirkt beständig auf die Oberfläche des im Windkessel eingeschlossenen Wassers so

Fig. 227.



stark, dass auch während der Zeit, wo der Kolben neues Wasser aufsaugt und demnach kein Wasser dem Steigrohr zugeführt

wird, dennoch ein continuirliches Ausströmen desselben aus dem Steigrohr des Windkessels stattfindet. Da hierbei die zu fördernde Wassermasse fast stets in Bewegung bleibt, so könnte es scheinen, als ob damit ein bedeutender Gewinn an Arbeit erzielt werde. Man muss jedoch dabei nicht übersehen, dass, wenn einerseits durch die Expansion der zusammengepressten Luft im Windkessel Arbeit geleistet wird, die sich in der kräftigen Bewegung des aus dem Steigrohr hervorfliessenden Wasserstrahls kund giebt, andererseits doch eine gleiche Arbeit von der Pumpe oder deren Triebkraft aufgewendet werden muss, um dieser Luft die erforderliche Spannkraft zu ertheilen oder um sie auf das kleinere Volumen zusammenzupressen.

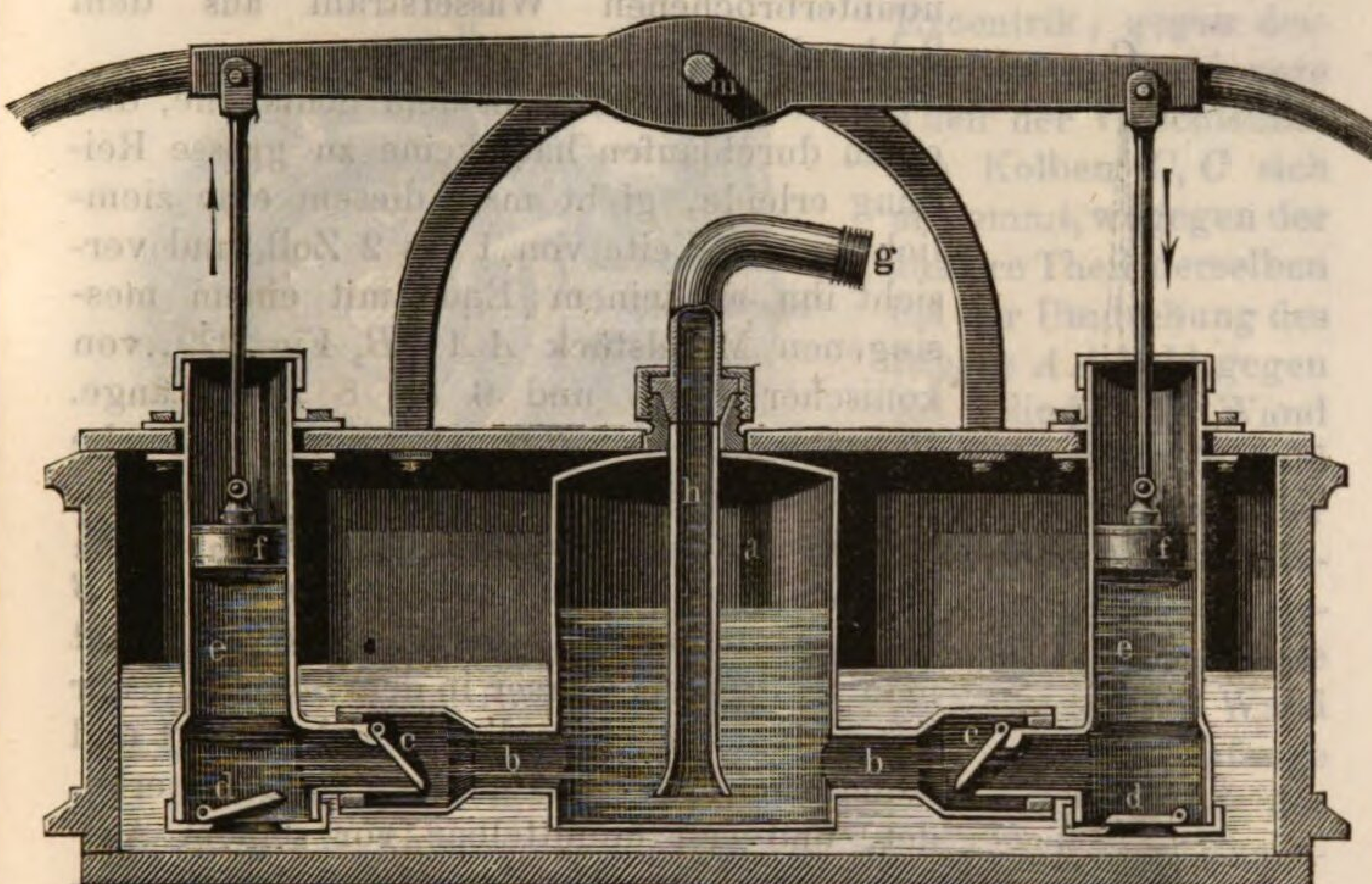
In den meisten Fällen giebt man dem Windkessel einen 4 bis 6mal so grossen Inhalt, als dem Pumpenstiefel, ausserdem ist es nothwendig, an demselben eine durch einen Hahn verschliessbare, mit der äusseren Luft in Verbindung tretende Röhre anzubringen, damit man durch Oeffnen des Hahnes neue atmosphärische Luft in den Windkessel gelangen lassen kann, wenn durch das aus demselben fortgeschleuderte Wasser nach einiger Zeit ein Theil der eingeschlossenen Luft mit fortgerissen worden ist.

160 **Die Feuerspritze** ist ein doppeltes Druckwerk in Verbindung mit einem Windkessel; sie vereinigt daher die Wirkungen beider und liefert in Folge dessen einen kräftigen Wasserstrahl von beinahe constanter Geschwindigkeit. Um diesen Strahl schnell und leicht nach allen möglichen Richtungen hinrichten zu können, muss das Steigrohr biegsam sein; man verfertigt es in Form eines Schlauches gewöhnlich von gutem Hanf oder von Leder.

Die Figur 228 zeigt die einzelnen Theile einer Feuerspritze. Die beiden Kolben *f*, *f* sind an den entgegengesetzten Seiten eines um *m* drehbaren Hebels aufgehängt und erhalten ihre Bewegung durch Menschen, welche diesen Hebel durch Querbäume, die sich an den Enden des Hebels befinden, auf- und abbewegen. Da die Kolben sich stets in entgegengesetzter Richtung bewegen, so wirkt der eine herabgehende Kolben drückend, während gleichzeitig der andere heraufgehende Kolben saugt. Die Saugventile sind *d*, *d*; die Druckventile, welche zu dem Steigrohr *b*, *b* und von hier zu dem Windkessel *a* führen, sind *c*, *c*. Der Windkessel *a* steht zwischen den beiden Druckpumpen und erhält abwechselnd von dem einen und dem

anderen Stiefel Wasser zugeführt. Aus dem Windkessel führt das Steigrohr *h* nach aussen und endigt daselbst in ein Schrau-

Fig. 228.

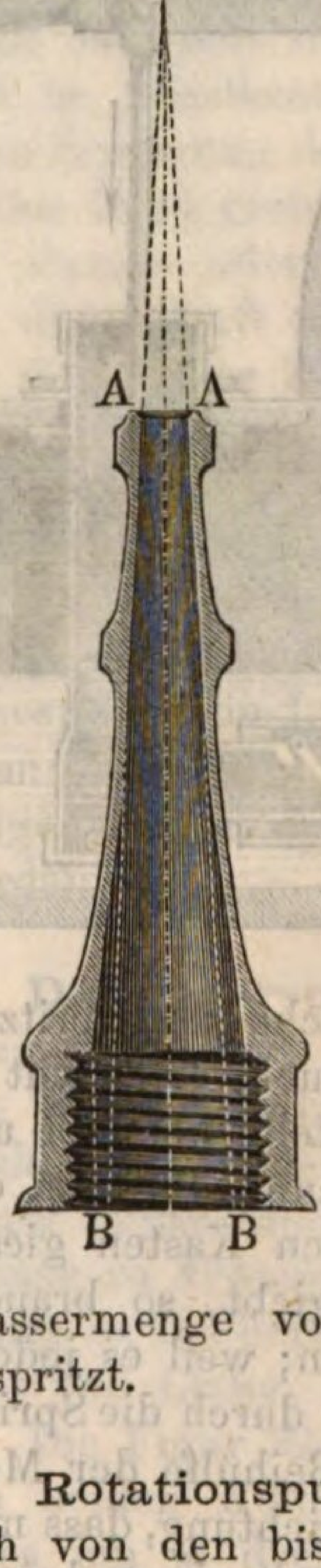


bengewinde *g*, auf welches vor dem Gebrauche der Spritzenschlauch aufgeschraubt wird. Das ganze Druckwerk steht in einem Kasten, der sich auf einem Wagengestelle befindet und daher leicht von der Stelle bewegt werden kann. Da man das Wasser einfach mittelst der Feuereimer in den Kasten giesst, wo es alle Theile der Spritze von aussen umgiebt, so braucht ein besonderes Saugrohr nicht vorhanden zu sein; weil es jedoch vortheilhaft ist, in geeigneten Fällen das Wasser durch die Spritze selbst zubringen zu lassen und dadurch der Beihülfe der Menschen überhoben zu sein, so trifft man die Einrichtung, dass man die Stiefel *e*, *e* unterhalb der Saugventile *d*, *d* mit einem kurzen Rohr in Verbindung treten lassen kann, an welches man dann, wenn das Bedürfniss es erfordert, einen Schlauch anschraubt und diesen in einen nahen Brunnen, einen Bach oder in ein sonstiges Wasser hinabführt. In diesem Falle hat die Spritze einen Zubringer in dem hinzugefügten schlauchartigen Saugrohr.

Die Wirkung einer Feuerspritze ist aus den vorigen §§. 158 und 159 leicht zu verstehen; die beiden Stiefel drücken ihr

Wasser abwechselnd in den Windkessel, aus welchem die comprimirte Luft in dem fortwährenden Bestreben, sich auszudehnen während der Thätigkeit der Pumpen einen ununterbrochenen Wasserstrahl aus dem Schlauche hervorschleudert.

Fig. 229.



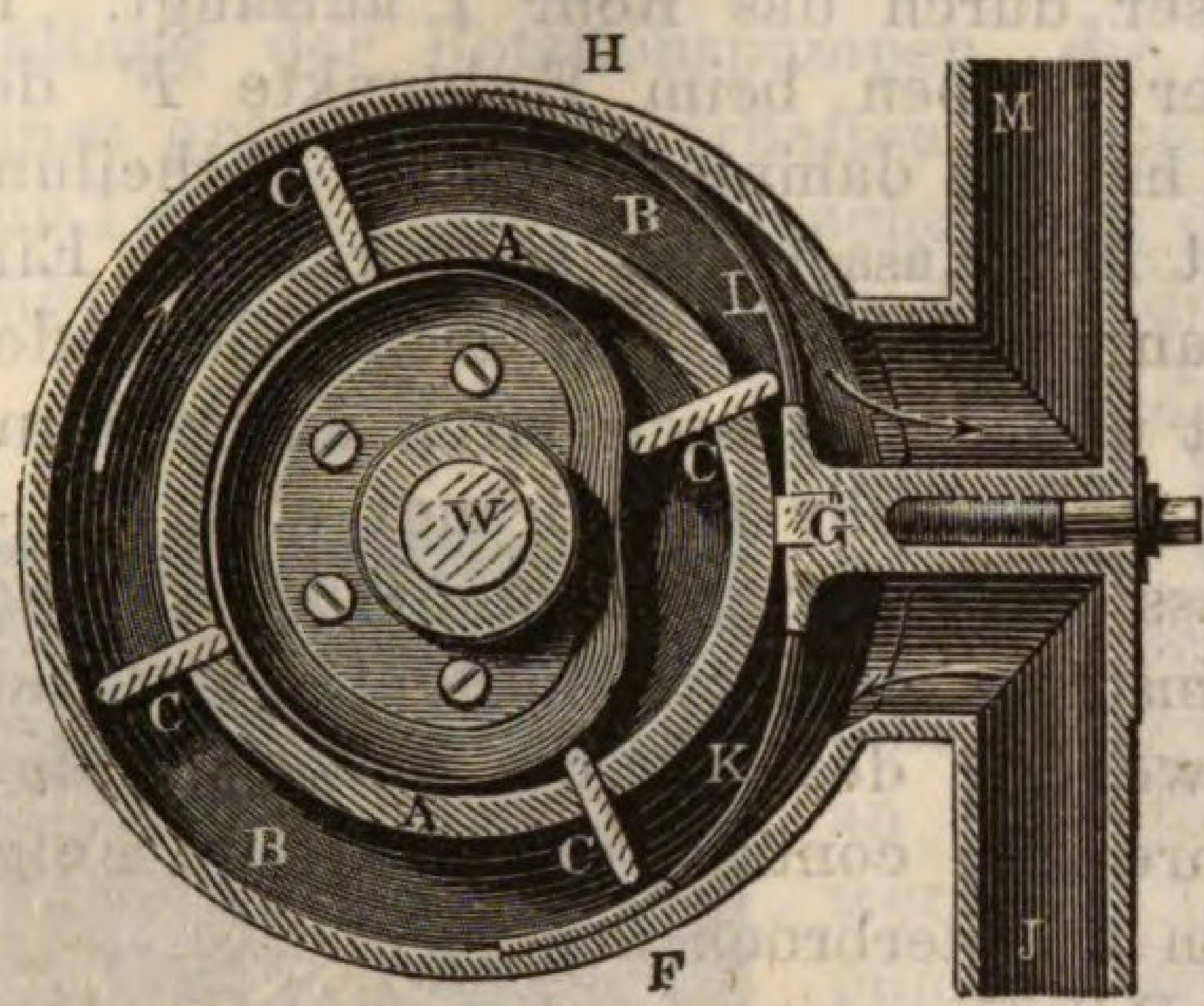
Damit das Wasser in dem Schlauche, den es zu durchlaufen hat, keine zu grosse Reibung erleide, giebt man diesem eine ziemlich grosse Weite von 1 bis 2 Zoll, und versieht ihn an seinem Ende mit einem messingenen Mundstück *AABB*, Fig. 229, von konischer Form und 6 bis 8 Zoll Länge. Dasselbe wird bei *BB* auf das am Schlauche befindliche Schraubengewinde aufgeschraubt und hat bei der Ausmündung nur $1/3$ bis $2/3$ Zoll Weite, so dass der Convergenzwinkel *BCB* etwa 5 Grad beträgt. Auf diese Weise erreicht man es, dass das Wasser in dem Schlauche nur mit geringer Geschwindigkeit sich bewegt und daher auch nur eine geringe Reibung erleidet, und erst unmittelbar vor seinem Austreten aus der Mündung eine grosse Geschwindigkeit annimmt.

Bei den gewöhnlichen zweistiefeligen Feuerspritzen auf Wagen, an welchen 8 bis 32 Menschen arbeiten, beträgt der Durchmesser eines Pumpenkolbens 5 bis 7 Zoll, und es wird durch dieselbe in der Minute eine Wassermenge von 10 bis 20 Kubikfuss 70 bis 100 Fuss hoch gespritzt.

161 **Rotationspumpen.** Die Rotationspumpen unterscheiden sich von den bisher beschriebenen Pumpenwerken im Princip dadurch, dass die Kolben, anstatt eine geradlinige hin- und hergehende Bewegung zu machen, rotiren, und hierdurch das Wasser einerseits aufgesaugt, andererseits zum Abfluss gebracht wird. Die Rotationspumpe von Dietz ist in Fig. 230 abgebildet; sie besteht aus einem auf der Welle *W* festsitzenden Ringe *AA*, der mit der Welle in einem Gehäuse *BB* rund läuft und mit vier verschiebbaren Kolben *C*, *C* versehen ist. Durch diese Kolben wird der ringförmige Raum in vier Abthei-

lungen getheilt, welche in keiner Verbindung mit einander stehen. Die Welle *W* ist umgeben von einem mit dem Gehäuse *BB* fest verbundenen Excentrik, gegen dessen Umfang der innere Theil der verschiebbaren Kolben *C*, *C* sich anstemmt, wogegen der äussere Theil derselben bei der Umdrehung des Ringes *AA* bald gegen die cylindrische Wand des Gehäuses *BB*, bald gegen eine auf der rechten Seite des Ringes im Gehäuse angebrachte eiserne Schiene *FGH* angedrückt wird. Da diese Schiene mit ihren Enden *F* und *H* an der äusseren Wand des Gehäuses und in ihrer Mitte *G* an dem äusseren Umfange des Ringes *AA* anliegt, so müssen sich bei jedem Umlaufe des Ringes in der Richtung des Pfeiles um das feststehende Excentrik die Kolben im Ringe *AA* verschieben; sie werden aus dem Zwischenraume *BB* durch die Schiene *HG* in das Innere des Ringes *AA* hineingeschoben, wenn sie sich zwischen *H* und *G* bewegen; dagegen werden sie von dem Excentrik wieder an die Schiene *GF* angedrückt und aus dem Ringe *AA* hinausgeschoben, wenn sie sich zwischen *G* und *F* bewegen, und bleiben in ihrer ausgeschobenen Lage stehen, wenn sie zwischen *F* und *H* laufen. Hieraus folgt, dass die vier Abtheilungen des Gehäuses *BB* zwischen je zwei auf einander folgenden Kolben *C*, *C* nicht immer dieselbe Grösse haben und an Inhalt zunehmen, wenn die sie begränzenden Kolben *C*, *C* sich vom Mittelpunkt *C* der Umdrehung entfernen, umgekehrt aber kleiner werden, wenn sich die Kolben dem Mittelpunkte nähern. Durch zwei Löcher *K*, *L* in der Schiene *FGH* steht der Raum *BB*, in welchem die Kolben *C*, *C* rotiren, einerseits mit dem Saugrohr *I* und andererseits mit dem Steigrohr *M* in Verbindung. Wenn nun bei der Umdrehung des Ringes *AA* in der Richtung des Pfeiles ein Kolben sich zwischen *G* und *F* bewegt, so wird er durch das Excentrik nach aussen gegen die Schiene *GF* gedrückt, und dadurch der Rauminhalt der betreffenden Abtheilung *K* zwischen diesem Kolben und dem Stück *G* grösser; die

Fig. 230.

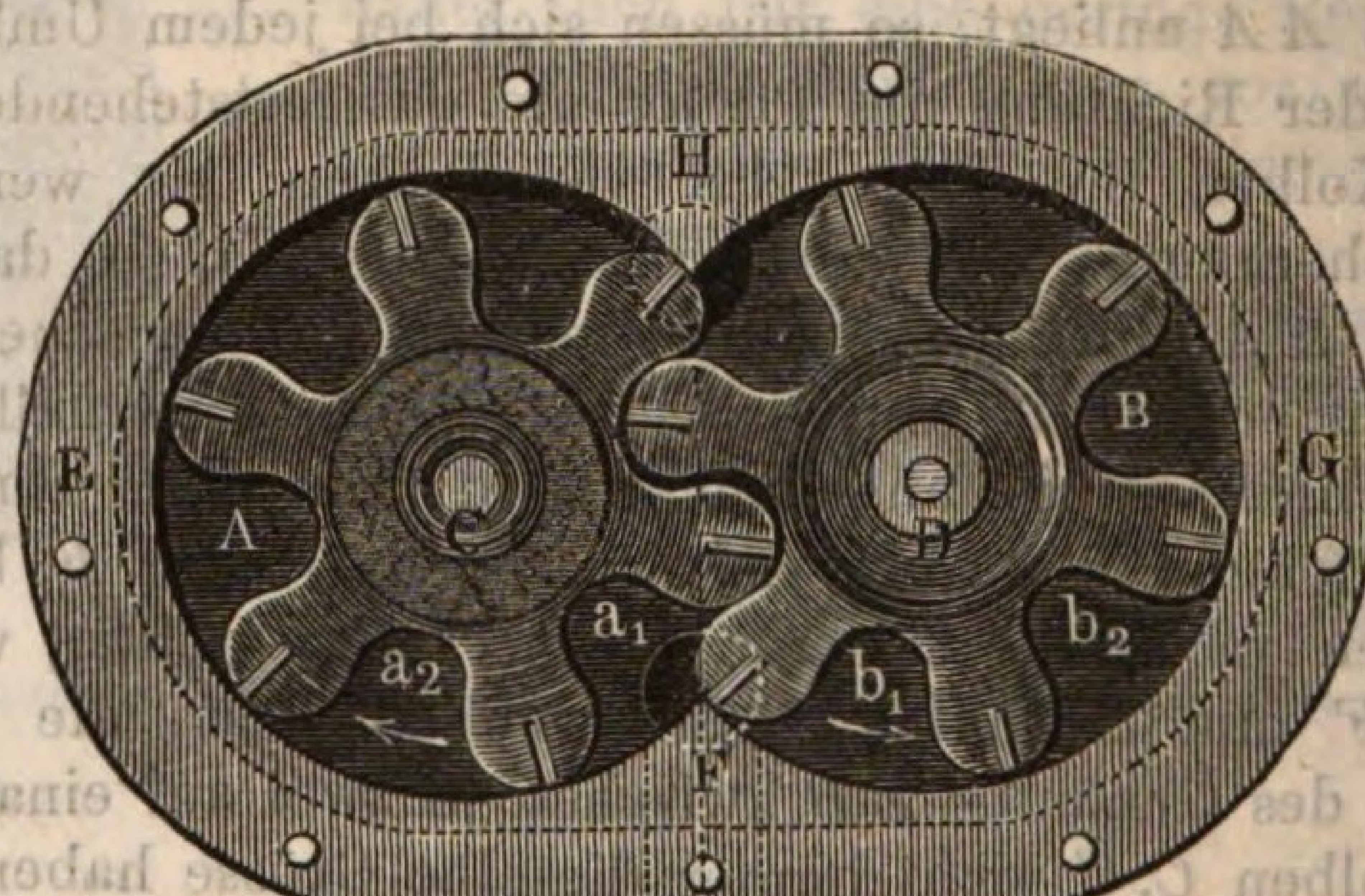


Folge davon ist, dass dieser Kolben in ähnlicher Art, wie in der gewöhnlichen Pumpe durch den Hub des Kolbens und die dadurch entstehende Volumenvergrösserung der unteren Stiefelabtheilung das Wasser durch das Rohr *I* aufsaugt. In dem Augenblicke, wo der Kolben beim Endpunkte *F* der Schiene *GF* angelangt ist, hat die dahinter liegende Abtheilung sich vollgesaugt und behält ihr Wasser, bis sie durch das Einwärtsschieben des bei *H* an die Schiene *HG* sich anlegenden Kolbens an Inhalt abnimmt und das Wasser durch die Oeffnung in der Schiene *HG* in das Abflussrohr *H* gedrängt wird.

Man sieht hieraus, dass diese Rotationspumpe eine Saug- und Druckpumpe ist, die insofern zugleich die doppeltwirkende Pumpe ersetzt, als die Bewegung des Wassers sowohl in dem Saug- als in dem Steigrohre eine continuirliche, und in Folge davon auch der Ausfluss ein ununterbrochener ist.

Eine andere Art von Rotationspumpe, die von Leclerc verbesserte Bramah'sche Rotationspumpe, besteht, wie Fig. 231

Fig. 231.

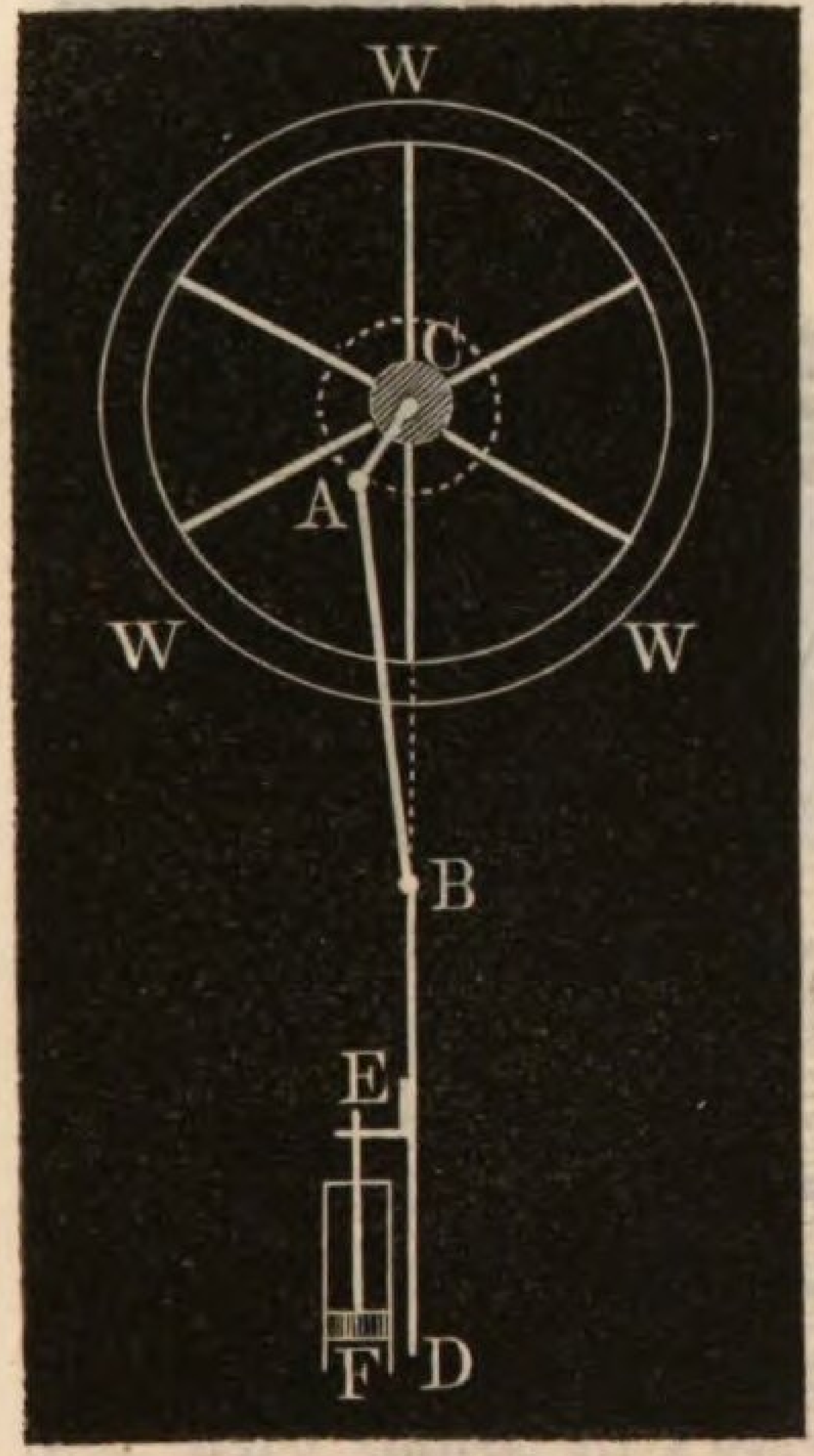


zeigt, aus zwei ineinander greifenden Zahnrädern *A*, *B*, mit ziemlich grossen Zahnlücken, welche in einem Gehäuse *EFGH* eingeschlossen sind. In das Gehäuse mündet einerseits bei *F* die Saugröhre, andererseits bei *H* die Steigröhre. Das Rad *A* wird in der Richtung des Pfeiles um seine Achse *C* rund gedreht, und versetzt mittelst seiner Zähne das andere Rad *B* in die entgegengesetzte Umdrehung. Bei dieser Bewegung saugen die beiden Räder bei dem Weggleiten der Zähne über die Mündung *F* des Saugrohres Wasser in die Zahnlücken *a'*, *b'* ...

auf, führen dasselbe an dem Umfange des Gehäuses mit sich weiter und geben es bei *H* in die Mündung des Steigrohres wieder ab.

Die Schwierigkeit in der Construction und in der Unterhaltung der Rotationspumpen, die hauptsächlich den Mängeln eines guten und dauerhaften Abschlusses durch die Liderung zur Last fällt, ist die Ursache, dass dieselben bei sonstigen Vorzügen doch nicht häufig in Anwendung kommen.

Fig. 232.



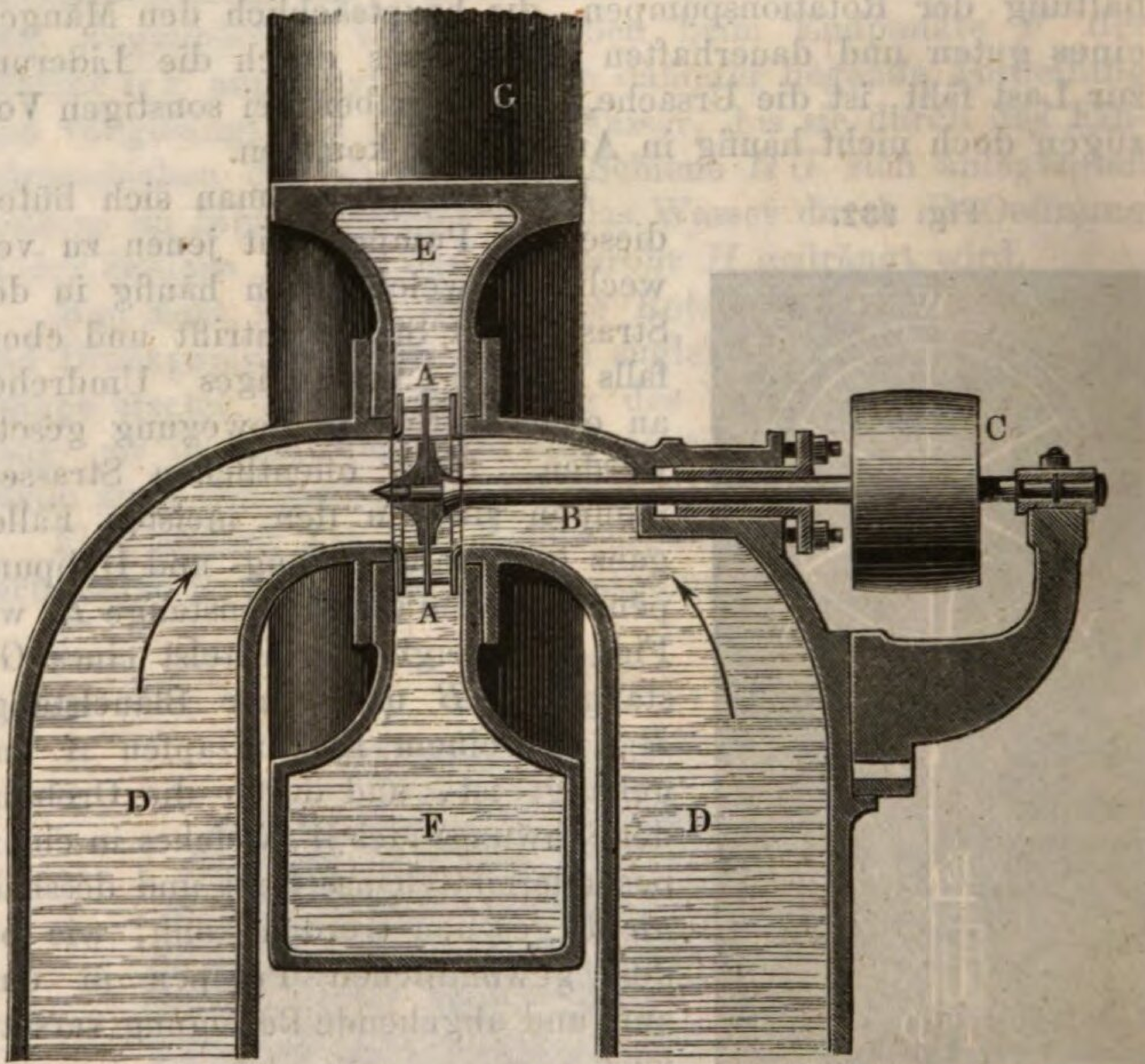
Uebrigens muss man sich hüten, diese Art Pumpen mit jenen zu verwechseln, welche man häufig in den Strassen der Städte antrifft und ebenfalls durch beständiges Umdrehen an einer Kurbel in Bewegung gesetzt werden. Diese öffentlichen Strassenpumpen sind in den meisten Fällen ganz gewöhnliche Saug- und Hubpumpen, in denen die Kolbenstange *E*, wie Fig. 232 zeigt, vermittelst eines Gestänges *D B* und einer Bläuelstange *B A* an einem Krummzapfen *A* aufgehängt ist, und durch die Drehung des Schwungrades *W*, welches in einem besonderen Gehäuse liegt und desshalb nicht gesehen werden kann, wie bei den gewöhnlichen Pumpen in eine auf- und abgehende Bewegung versetzt wird.

Die Centrifugalpumpe. In der Londoner und Pariser 162
Industrie-Ausstellung (1851 und 1855) war unter dem Namen der Centrifugalpumpe eine Wasserhebungsmaschine aufgestellt, die von dem Engländer Appold construirt war und durch die Eigenthümlichkeit ihrer Einrichtung, wie durch ihre überraschenden Leistungen das allgemeine Aufsehen erregte. Um die Wirkungsweise dieser Pumpe zu verstehen, erinnern wir zunächst daran, dass nach I. §. 135 die einzelnen Theile eines Körpers, der um eine Achse gedreht wird, das Bestreben haben, sich in der Richtung ihres Drehungsradius von dem Mittelpunkte der Umdrehung zu entfernen, und dass dieses Bestreben, die Schwung- oder Centrifugalkraft, unter sonst gleichen Umständen mit dem Quadrate der Geschwindigkeit zunimmt.

Die Appold'sche Pumpe besteht, wie Fig. 233 (a.f.S.) zeigt,

in der Hauptsache aus einer mit Schaufeln versehenen Trommel *AA*, welche auf der horizontalen Achse *B* befestigt ist und

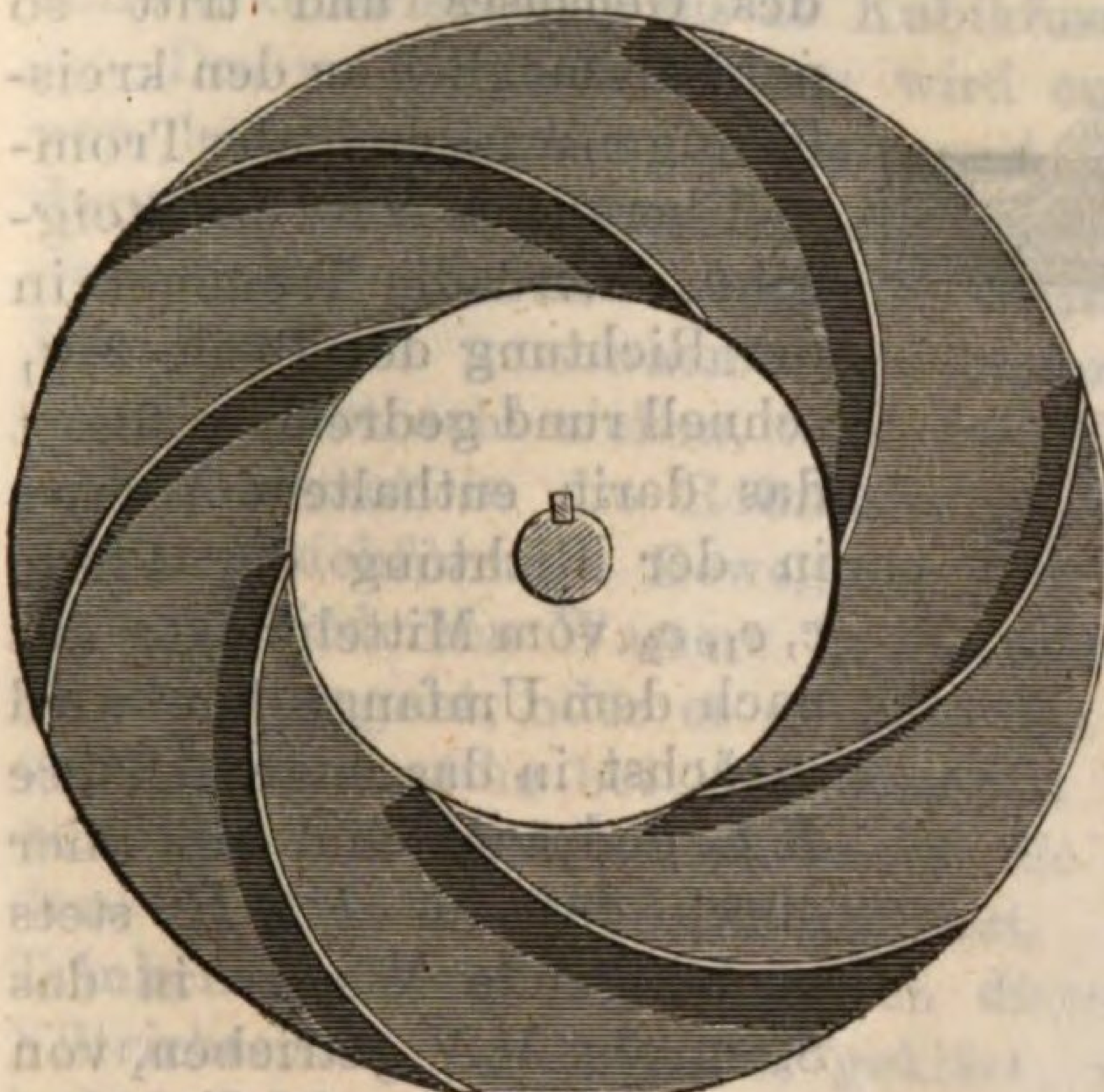
Fig. 233.



vermittelst eines endlosen über die Riemenscheibe *C* laufenden Riemens in sehr schnelle Rotation versetzt wird. Die Fig. 234 zeigt die Anordnung der Leitschaufeln im Innern der Trommel. Die oberen Ränder der Leitschaufeln sind auf beiden Seiten mit Blechscheiben gedeckt, die um den Mittelpunkt herum, wie Fig. 234 zeigt, einen kreisförmigen Ausschnitt haben; die Trommel besteht daher auf jeder Seite der mittleren Scheibe *AA*, Fig. 233, aus sechs gekrümmten Kanälen, die alle mit dem centralen Ausschnitt in Verbindung stehen und am Rande der Trommel offen sind; die mittlere Fläche *AA*, Fig. 233, kann auch wegbleiben, so dass dann statt der zwölf Kanäle (auf jeder Seite sechs) im Ganzen nur sechs doppelt so grosse Kanäle gebildet werden. Die Umdrehung der Trommel geschieht in einer solchen Richtung, dass jeder Kanal sich nach derjenigen Seite hin bewegt, welcher er seine convexe Seite darbietet.

Aus dem zu hebenden Wasser führen zwei Röhren *D*, *D* zu beiden Seiten der Trommel *AA* in die kreisförmigen Ausschnitte derselben, so dass das Innere der Trommel durch diese Röhren, die Saugröhren, mit dem Unterwasser in Verbindung steht. Die Trommel ist ringförmig von einem cylindrischen Gehäuse *EF* umgeben, das in der Fig. 233 durchschnitten erscheint, in welchem einerseits die äusseren Enden der Trommelkanäle ausmünden, und aus welchem andererseits von unten her ein Rohr *G*, das Steigrohr, ausläuft, um das zu fördernde Wasser aus der Pumpe nach aussen zu führen.

Fig. 234.

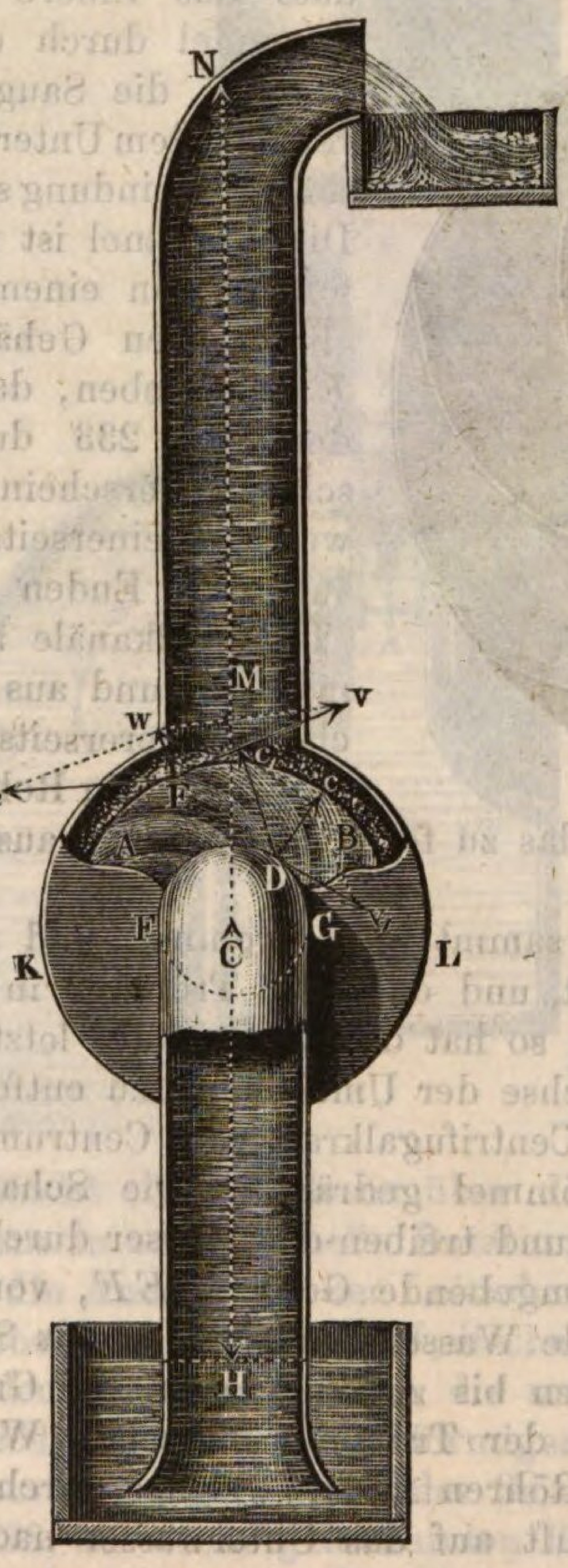


Wird das Gehäuse *EF* sammt der Trommel und dem Steigrohr mit Wasser angefüllt, und dann die Trommel in eine schnelle Umdrehung versetzt, so hat das Wasser der letzteren das Bestreben, sich von der Achse der Umdrehung zu entfernen und wird daher in Folge der Centrifugalkraft vom Centrum aus nach dem Umfange der Trommel gedrängt. Die Schaufeln wirken dabei als Leitschaufeln und treiben das Wasser durch die Kanäle in das die Trommel umgebende Gehäuse *EF*, von wo es durch das stets nachfolgende Wasser gedrängt in das Steigrohr *G* tritt und in demselben bis zu einer gewissen Gränze immer höher steigt. Das aus der Trommel fliessende Wasser wird durch das Wasser der Röhren *D*, *D*, welches durch den Druck der atmosphärischen Luft auf das Unterwasser nachgetrieben wird, stets von Neuem ersetzt.

Zur klareren Anschauung der Appold'schen Pumpe diene noch die Seitenansicht, Fig. 235 (a. f. S.); *AB* ist die mit den Leitschaufeln versehene Trommel, deren Achse bei *C* ihr Lager hat; die Riemenscheibe, wodurch die Trommel ihre Umdrehung erhält, liegt auf der entgegengesetzten Seite und ist daher hier nicht sichtbar. Ein Theil des die Trommel umgebenden cylindrischen

Gehäuses KL ist weggeschnitten, um im Innern desselben die Trommel AB selbst sehen zu können. Das eine Saugrohr FGH communicirt mit dem Innern des Gehäuses und tritt so nahe als möglich an den kreisförmigen Ausschnitt der Trommel heran; MN ist das Steigrohr. Wird die Trommel in der Richtung der Pfeile v, v_1 schnell rund gedreht, so fliesst das darin enthaltene Wasser in der Richtung der Pfeile c, c_1, c_2 vom Mittelpunkte aus nach dem Umfange hin, wird zunächst in das enge Gehäuse KL gedrängt und von hier durch das aus FGH stets nachfolgende Wasser in das Steigrohr MN getrieben, von wo es dann oben abfliesst.

Fig. 235.



Da die Pumpe keine Ventile hat, so kann sie mit Vortheil zum Heben von unreinem Wasser gebraucht werden, und findet in dieser Weise mehrfache Anwendung in der Landwirthschaft.

163 **Pumpenwerke zur Versorgung der Städte mit Wasser. — Wasserleitung.** Bei der Anlage von Wasserleitungen zur Versorgung einer Stadt mit Wasser hat man sowohl Rücksicht zu nehmen auf die Wassermenge, welche die Einwohner unmittelbar zum Trinken, zur Zubereitung der Speisen und zur Reinigung der Wäsche und der Wohnungen verbrauchen, als auch auf das Bedürfniss, die Strassen zu spülen, Springbrunnen zu versorgen und im erforderlichen Falle die Feuerspritzen zu speisen oder gar dieselben vollständig zu ersetzen. Es kommen indessen nicht immer alle diese Zwecke zugleich

in Betracht und häufig findet man Wasserleitungen, welche das Wasser nur in die Wohnungen leiten. Hiernach ist auch der tägliche Verbrauch an Wasser sehr verschieden und schwankt zwischen 2 bis 10 Kubikfuss für jedes Individuum.

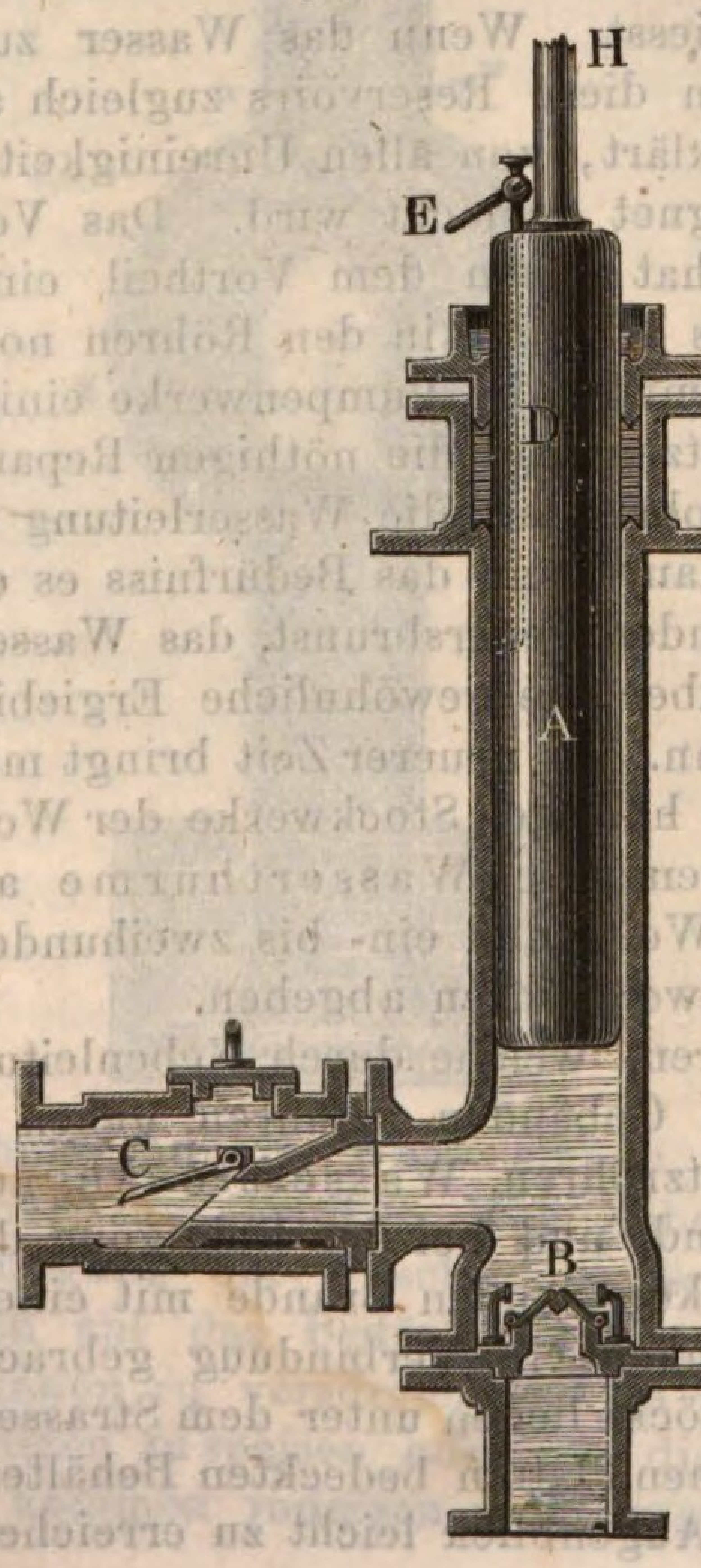
Das zu liefernde Wasser wird entweder durch Abfangung von höher gelegenen Quellen und Fortleitung ihres Wassers durch Kanäle und Aquäducte beschafft, oder aus tiefer liegenden Strombetten und sonstigen Wasserbecken mittelst starker Druckpumpen gewonnen. Im letzteren Falle, den wir hier allein in Betracht ziehen, wird das Wasser entweder durch die Pumpe direct in die Röhrenleitungen getrieben, wobei dann die ungleichförmige Bewegung des von den Pumpen stossweise geförderten Wassers in die meist sehr langen Leitungsröhren übergeht, oder es gelangt das gepumpte Wasser in ein oder in zwei nahe bei den Pumpen auf einer Anhöhe gelegene Reservoirs, von wo es in die Leitungsröhren und zu den Punkten des Bedarfs abfliesst. Wenn das Wasser zum Trinken bestimmt ist, so dienen diese Reservoirs zugleich als Filtrirbassins, in denen es geklärt, von allen Unreinigkeiten befreit und zum Trinken geeignet gemacht wird. Das Vorhandensein dieser Reservoirs hat neben dem Vortheil einer gleichförmigeren Bewegung des Wassers in den Röhren noch den Nutzen, dass man nöthigenfalls die Pumpenwerke einige Zeit hindurch ausser Dienst setzen und die nöthigen Reparaturen daran vornehmen kann, ohne dass die Wasserleitung zu wirken aufhört, so wie dass man, wenn das Bedürfniss es erfordert, z. B. bei einer eintretenden Feuersbrunst, das Wasserquantum auf einige Zeit weit über die gewöhnliche Ergiebigkeit der Leitung vermehren kann. In neuerer Zeit bringt man auch, um das Wasser bis in die höchsten Stockwerke der Wohnungen leiten zu können, sogenannte Wasserthürme aus Eisenplatten von 4 bis 5 Fuss Weite und ein- bis zweihundert Fuss Höhe an, aus denen die Zweigröhren abgehen.

Aus den Hauptleitungsröhren, welche durch Nebenleitungen das Wasser den einzelnen Gebäuden zuführen, gehen in gewissen Abständen kurze Ansatzröhren, Wasserstöcke, aus, die mit Hähnen geschlossen sind, und bei der Reinigung der Strassen, so wie bei einem vorkommenden Brande mit einem Spritzenschlauch schnell und leicht in Verbinduug gebracht werden können. Diese Wasserstöcke liegen unter dem Strassenpflaster in besonderen mit eisernen Platten bedeckten Behältern und sind auf diese Weise jeden Augenblick leicht zu erreichen.

Die Zuleitung des Wassers in die Privatwohnungen geschieht in eisernen Röhren; der Verbrauch wird entweder durch besondere Wassermesser (§. 112) gemessen und wie das Gas nach dem Preise von je 1000 Kubikfuss bezahlt, oder es wird dafür jährlich eine bestimmte Taxe entrichtet, deren Höhe von der Anzahl der Zimmer des Hauses, dem Miethwerthe desselben u. s. w. abhängt, so dass es in dem letzteren Falle bei der Abrechnung für den Consumenten einerlei ist, ob er viel oder wenig Wasser verbraucht hat.

Die Pumpen der Wasserleitungsmaschine sind sehr starke Druckpumpen, welche häufig durch grosse Wasserräder, in der Regel aber durch kräftige Dampfmaschinen in Bewegung gesetzt werden. Der Kolben und die Röhren sind natürlich, um die grosse Wassermenge bewältigen zu können, sehr weit; in der Wasserhebungsdampfmaschine der East London-Waterworks, Old-Ford, misst der Durchmesser des Pumpenkolbens 41 Zoll, der Pumpenröhren 43 Zoll und der des 124 Fuss hohen Wasserthurmes, in welchen das Wasser zuerst hineingepumpt wird, 50 Zoll; der Hub des Pumpenkolbens beträgt 114 Zoll.

Fig. 236.



Die Fig. 236 zeigt einen Theil einer solchen starken Pumpe, welche eine der ersten war, womit man das Wasser der Seine in einem einzigen Hube auf die sehr bedeutende Höhe von 155 Meter oder ungefähr 494 Fuss brachte, um das Wasser dieses Flusses mittelst eines Aquäductes dem Schlosse und dem Park zu Marly zuzuführen. Der Kolben *A* dieser Pumpe ist ein Taucherkolben oder Plunger, der sich durch eine im Halse des Stiefels angebrachte Stopfbüchse bewegt. Zwei Klap-

penventile B, die sich von beiden Seiten gegen einen festen mittleren Steg anschliessen, bilden das Saugventil; C ist das Druckventil. Ungeachtet der grossen Dimensionen dieser Pumpe und der Kraft, mit welcher dieselbe in Bewegung gesetzt wird, würde sie doch nicht im Stande sein, das Wasser auf die genannte enorme Höhe zu bringen, wenn nicht noch eine andere Vorrichtung dabei angebracht wäre.

Wenn man nämlich die Vorgänge während der Thätigkeit der Pumpe genauer untersucht, so findet man leicht, dass bei jedem Kolbenhube, in der Zeit also, in welcher das Wasser aufgesaugt wird, der Druck im Innern des Stiefels kleiner, dagegen bei jedem Niedergange des Kolbens, um das Wasser in das Steigrohr pressen zu können, weit grösser sein muss, als der äussere Druck der Luft. In der ersten Periode des Kolbenspiels muss sich daher ein Theil der Luft, welche stets im Wasser enthalten ist, unter dem geringeren Druck aus demselben losmachen, ein anderer Theil Luft wird mit dem Wasser durch das Saugventil mechanisch mit in den Stiefel gerissen, und endlich kann leicht im Laufe der Zeit durch feine Risse und durch die Stopfbüchse eine gewisse Quantität Luft um den Kolben herum sich ansammeln. Wenn nun der Kolben herabgeht, so wird die denselben umgebende Luft zunächst zusammengedrückt, und es kann erst dann das Wasser in das Steigrohr gelangen, wenn diese Luft bis zu dem Maasse zusammengedrückt ist, dass ihre Spannung gleich ist dem Druck, den die in dem Steigrohr bereits befindliche Wassersäule auf das Druckventil ausübt. Man sieht hieraus, dass, wenn das Wasser auf eine sehr bedeutende Höhe gebracht werden muss und sich unterhalb des Kolbens Luft befindet, unter Umständen der Kolben gar nicht mehr im Stande sein wird, überhaupt noch Wasser in das Steigrohr hineinzupressen. Wenn nämlich die Pumpe anfängt zu arbeiten, so presst sie anfangs das Wasser in dem Steigrohre immer mehr in die Höhe, aber es bleibt darin auf einer gewissen Höhe stehen, welche die geforderte Höhe nicht erreicht, eben weil die Kraft des Kolbens dazu angewandt wird, die in dem Stiefel befindliche Luft von einer geringen auf eine sehr bedeutende Spannung zu bringen. Aber auch in anderer Beziehung würde die Ansammlung von Luft unterhalb des Kolbens sehr nachtheilig wirken, weil dann bei jedem Kolbenspiele nicht so viel Wasser gefördert werden kann, als wenn die Luft nicht vorhanden ist. Um diesen grossen Uebelständen abzuhelfen, bringt man in dem

Kolben A einen feinen Kanal D an, welcher ausserhalb der Pumpe durch einen Hahn E geöffnet und geschlossen werden kann, und der durch eine seitliche Ausmündung mit dem Innern des Stiefels communicirt. Von Zeit zu Zeit öffnet man diesen Hahn und lässt die Luft, welche sich im Cylinder um den Kolben herum befindet, ausströmen, wobei der herabgehende Kolben das Wasser durch diesen Kanal treibt und damit die letzte Spur Luft aus dem Stiefel entfernt.

Das Druckwerk zu Marly besteht aus acht dergleichen Pumpen, welche durch zwei grosse Wasserräder in Bewegung gesetzt werden; dabei ist das Spiel der Kolben so geordnet, dass die Bewegung des Wassers in dem Steigrohre möglichst regelmässig ist. Ausser diesen acht Pumpen sind noch acht Pumpen vorhanden, welche mit jenen zugleich arbeiten und durch eine grosse Dampfmaschine in Bewegung gesetzt werden.

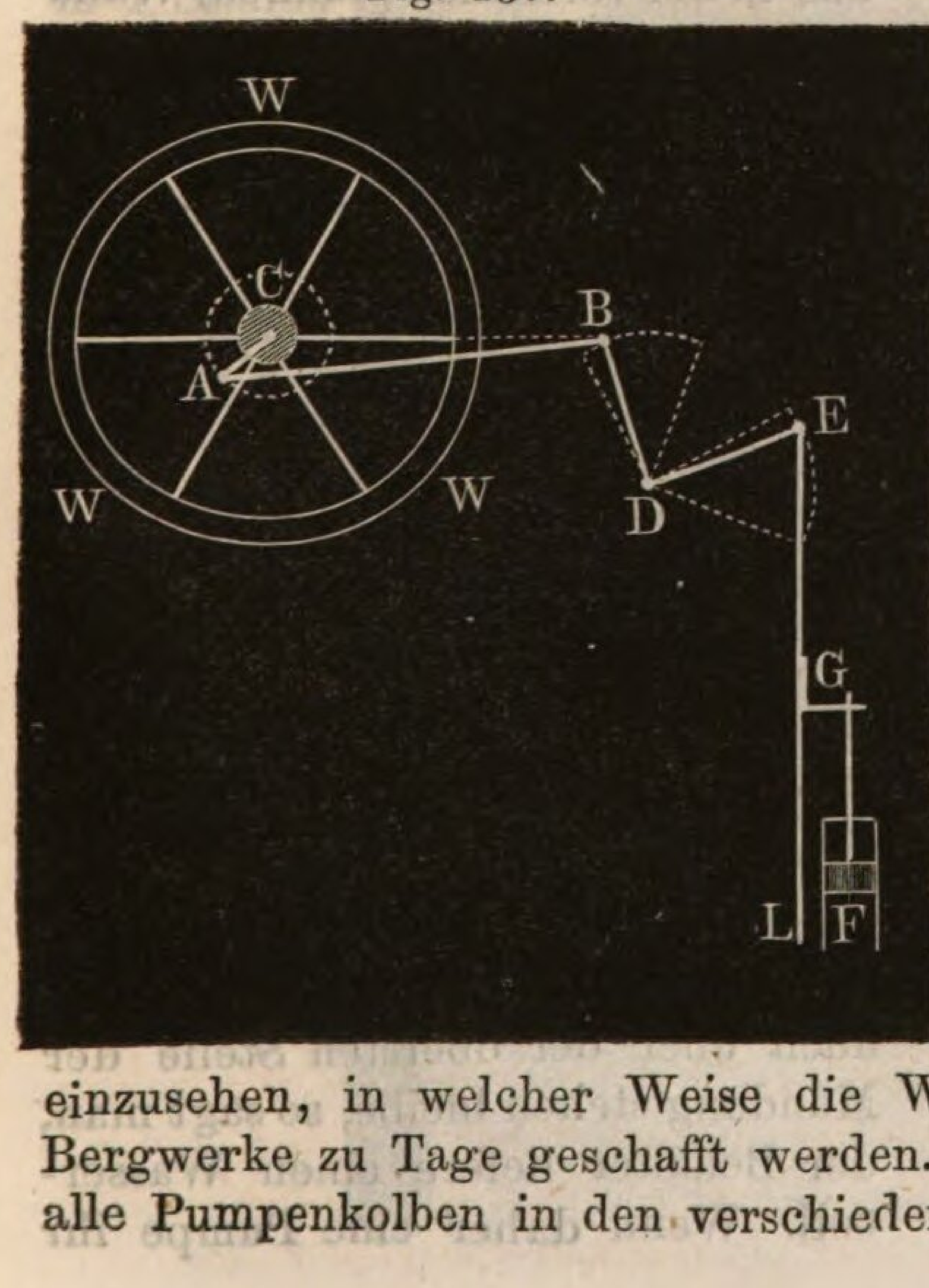
Die Wassersäule im Steigrohre zu Marly übt im Ruhezustande einen Druck von 15 Atmosphären aus; Versuche haben aber ergeben, dass die Kolben einen Widerstand von nahe 17 Atmosphären überwinden, woraus folgt, dass die Bewegung des Wassers in den Röhren einen Reibungswiderstand von nahe 2 Atmosphären verursacht.

164 **Kunstgezeuge für Bergwerke.** Mit dem Ausdruck Kunstgezeuge bezeichnet man im Allgemeinen Pumpenwerke, welche entweder durch besondere Wasserräder oder durch Dampfmaschinen in Bewegung gesetzt werden und in denen daher besondere Zwischenmechanismen, Krummzapfen, Zahnradvorgelege, Hebelverbindungen u. s. w. nothwendig sind, um die Kraft und die Bewegungsrichtung des Motors so auf das Kolbengestänge zu übertragen, wie es eben für den jedesmaligen Zweck der Pumpe erforderlich ist. Man unterscheidet daher bei den Kunstgezeugen die Wasserkunst und die Dampfkunst, je nachdem der Motor ein Wasserrad oder eine Dampfmaschine ist. Die Kunstgezeuge kommen vorzugsweise bei grösseren Pumpenwerken in Anwendung, insbesondere bei den Bergwerken, den Salinen, den städtischen Wasserleitungen u. s. w.

Von den letzteren ist bereits die Rede gewesen; um das Wasser aus den Bergwerken zu Tage zu fördern, bedarf es gewöhnlich wegen der sehr bedeutenden Tiefe, in der sich die unterirdischen Wasser ansammeln, ganz besonderer Einrichtungen, da es nicht thunlich ist, in dem tiefsten Punkte des

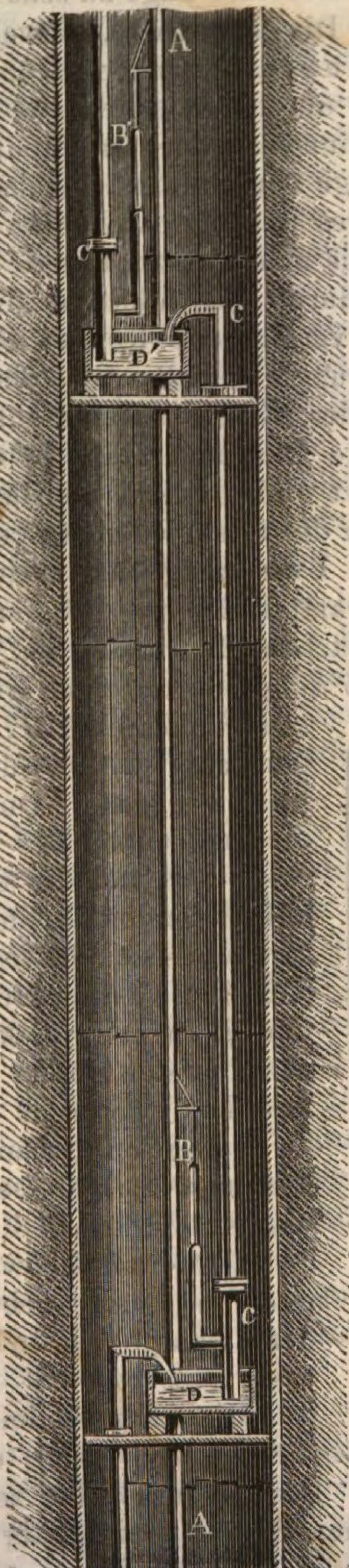
Bergwerkes eine Druckpumpe aufzustellen und mittelst derselben das Unterwasser in einem Satze direct zu Tage zu schaffen. Man trifft daher folgende Anordnung. Die ganze Höhe, auf welche das Wasser in dem sogenannten Kunstschachte gefördert werden muss, theilt man in mehrere übereinanderliegende Abtheilungen und stellt in jeder Etage eine besondere Druckpumpe auf, welche das Wasser aus dieser Etage nur in die nächst höher gelegene zu fördern hat. Ein einziges Gestänge *AA*, Fig. 238 (a. f. S.), welches von dem höchsten bis zum tiefsten Punkte des Bergwerkes hinabreicht, setzt alle durch besondere seitliche Stangen (Krummsen) mit ihm fest verbundene Kolben *B*, *B'* der verschiedenen Pumpen in Bewegung; dasselbe wird durch ein auf der Oberfläche der Erde in der Nähe des Kunstschachtes aufgestelltes Wasserrad oder eine Dampfmaschine in eine auf- und abgehende Bewegung gesetzt und bewirkt hierdurch, dass alle mit ihm verbundenen Pumpen der verschiedenen Etagen zugleich in Thätigkeit treten. Die Umsetzung der rotirenden Bewegung des Wasser- oder Dampfrades in die geradlinige und die Uebertragung dieser letzteren Bewegung auf das Gestänge geschieht meist, wie Fig. 237 zeigt, durch einen grossen Winkelhebel *BDE*, den man das Kunstkreuz nennt. Durch die Umdrehung des Rades *WW* und des darauf sitzenden Krummzapfens *CA* bewegen sich die Endpunkte *B* und *E* in den punktirt gezeichneten Bögen hin und her, wodurch das an *E* eingelenkte Kunstgestänge *EL*, dasselbe was *AA* in Fig. 238 (a. f. S.) ist, auf- und abbewegt und die damit verbundene Pumpe *GF* in Betrieb gesetzt wird.

Fig. 237.



Hiernach ist leicht einzusehen, in welcher Weise die Wasser aus der Tiefe der Bergwerke zu Tage geschafft werden. Das Gestänge *AA* setzt alle Pumpenkolben in den verschiedenen Etagen gleichzeitig in

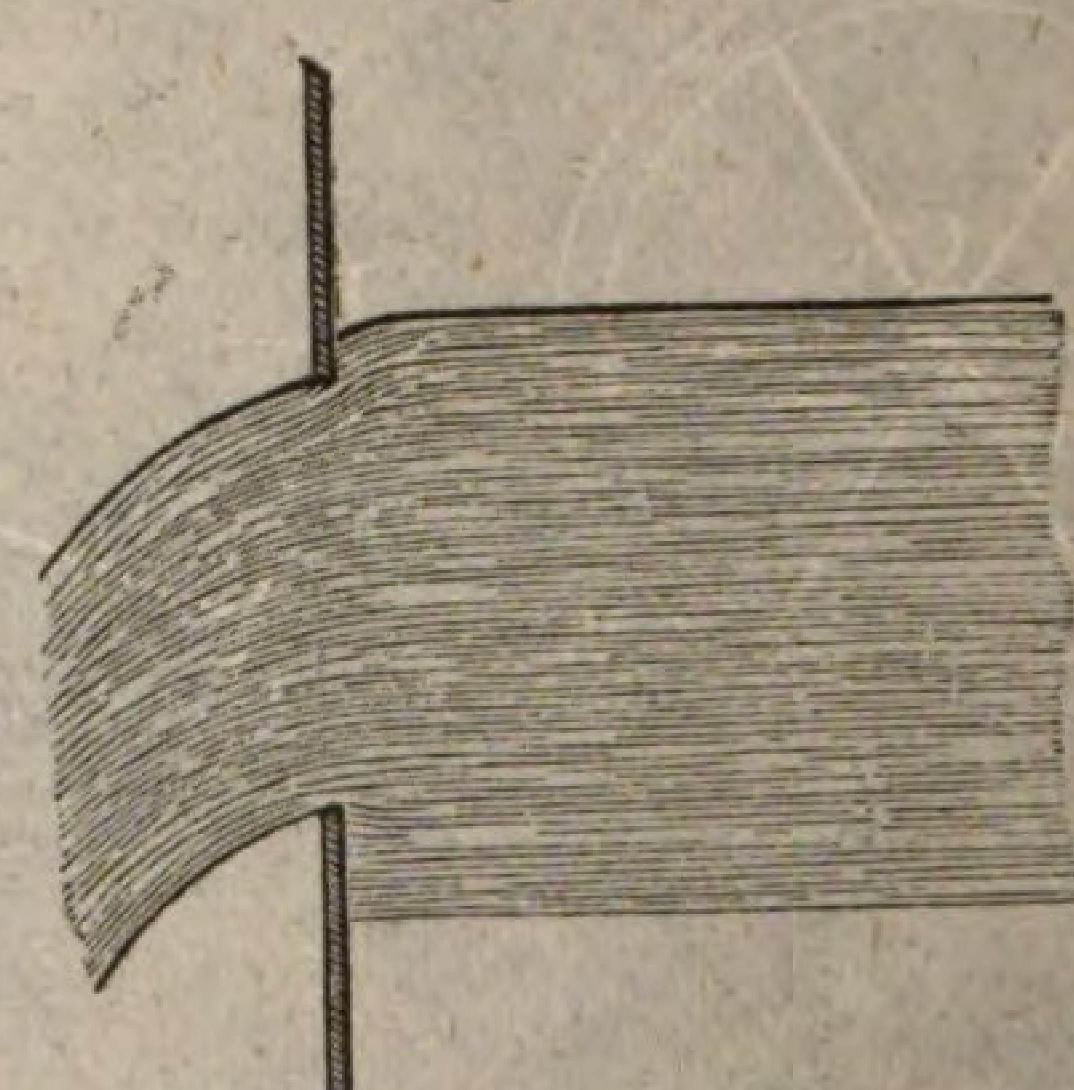
Fig. 238.



Bewegung, der Kolben B pumpt daher das von der unteren Etage in den Behälter D gelieferte Wasser durch das Steigrohr $C\,C$ in die Höhe, wo es in der nächst höheren Etage in den Behälter D' ausfliesst. Von diesem Behälter pumpt der Kolben B' das Wasser vermittelst der Pumpe C' wieder auf eine Etagenhöhe u. s. w., bis es endlich von der obersten Pumpe an die Oberfläche der Erde gelangt, um daselbst abzufliessen.

165 **Der Wasserzoll.** Um die Wassermenge, welche von einer Pumpe geliefert werden kann, zu bestimmen, hat man eine besondere Einheit angenommen, welche man den Wasserzoll nennt. Denken wir uns in der verticalen (dünnen) Wand eines Wasserbehälters, Fig. 239, eine

Fig. 239.



kreisrunde 1 Zoll weite Oeffnung, und nehmen wir an, dass der Wasserspiegel während des Ausflusses aus dieser Mündung genau 1 Linie hoch über der obersten Stelle der Mündung stehen bleibe, so sagt man, der Behälter liefere einen Wasserzoll. Wenn daher eine Pumpe ihr

Wasser in den Behälter ergiesst und dieses unter der angeführten Bedingung, dass das Niveau im Behälter stets 1 Linie hoch über der Mündung stehen bleibt, aus einer, zwei, drei . . . solchen zollweiten Oeffnungen ausfliessen muss, so sagt man, die Pumpe liefere einen, zwei, drei . . . Wasserzoll.

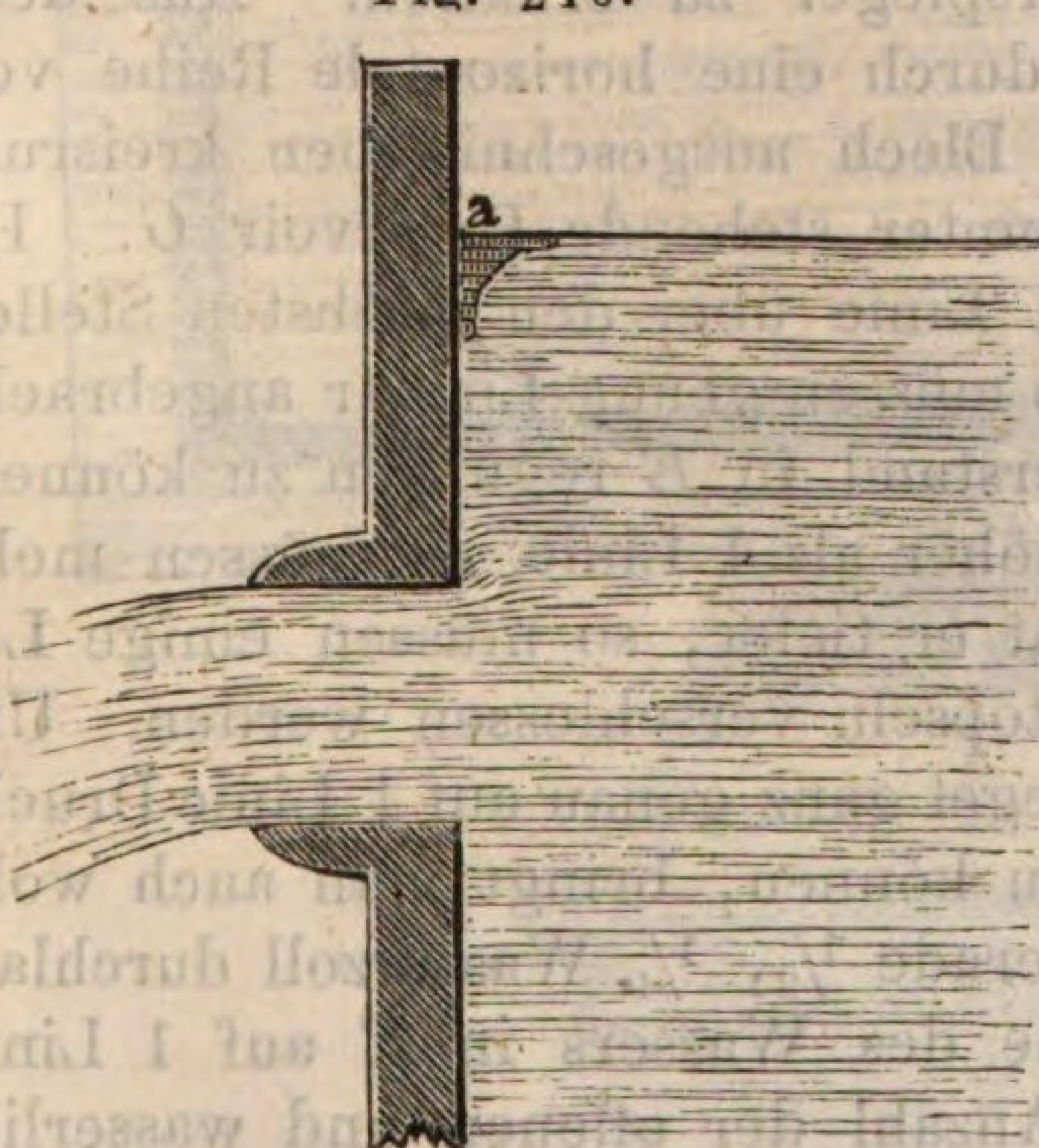
Der Wasserzoll ist daher nicht eine bestimmte Menge Wasser, weil er von der Dauer des Ausfliessens unabhängig ist, und gerade dieses ist es, was ihn zur Messung der von einer Pumpe gelieferten Wassermenge sehr brauchbar macht. Wollte man die Wassermenge, die eine Pumpe zu liefern vermag, auf die gewöhnliche Weise durch Hohl- oder Kubikmaasse bestimmen, so müsste man die Pumpe eine bestimmte Zeit lang wirken lassen und dann angeben, wie viel Quart oder Kubikfuss Wasser sie in dieser bestimmten Zeit geliefert hat. Aus vielen Versuchen hat man gefunden, dass die Wassermenge, welche aus einer kreisrunden Mündung in dünner Wand von 1 pariser Zoll Durchmesser und unter einem beständigen Drucke von 1 pariser Linie in 24 Stunden ausfliesst, $19^1/_5$ Kubikmeter oder nahe 621 preussische Kubikfuss beträgt, so dass einem französischen Wasserzoll

in 1 Stunde nahe 0,8 Kubikmeter oder 25,87 Kubikfuss preuss.
in 1 Minute „ 0,013 „ „ 0,42 „ „

entspricht. Nach Hagen liefert ein Wasserzoll (nach preussischem Maasse) in 24 Stunden 520 Kubikfuss, also in der Minute 0,3611 Kubikfuss Wasser.

Wenn man hiernach sagt, dass eine Pumpe einen, zwei, drei... Wasserzoll (preussisch) liefert, so heisst das, sie giebt in 24 Stunden einmal, zweimal, dreimal ... 520 Kubikfuss Wasser.

Fig. 240.

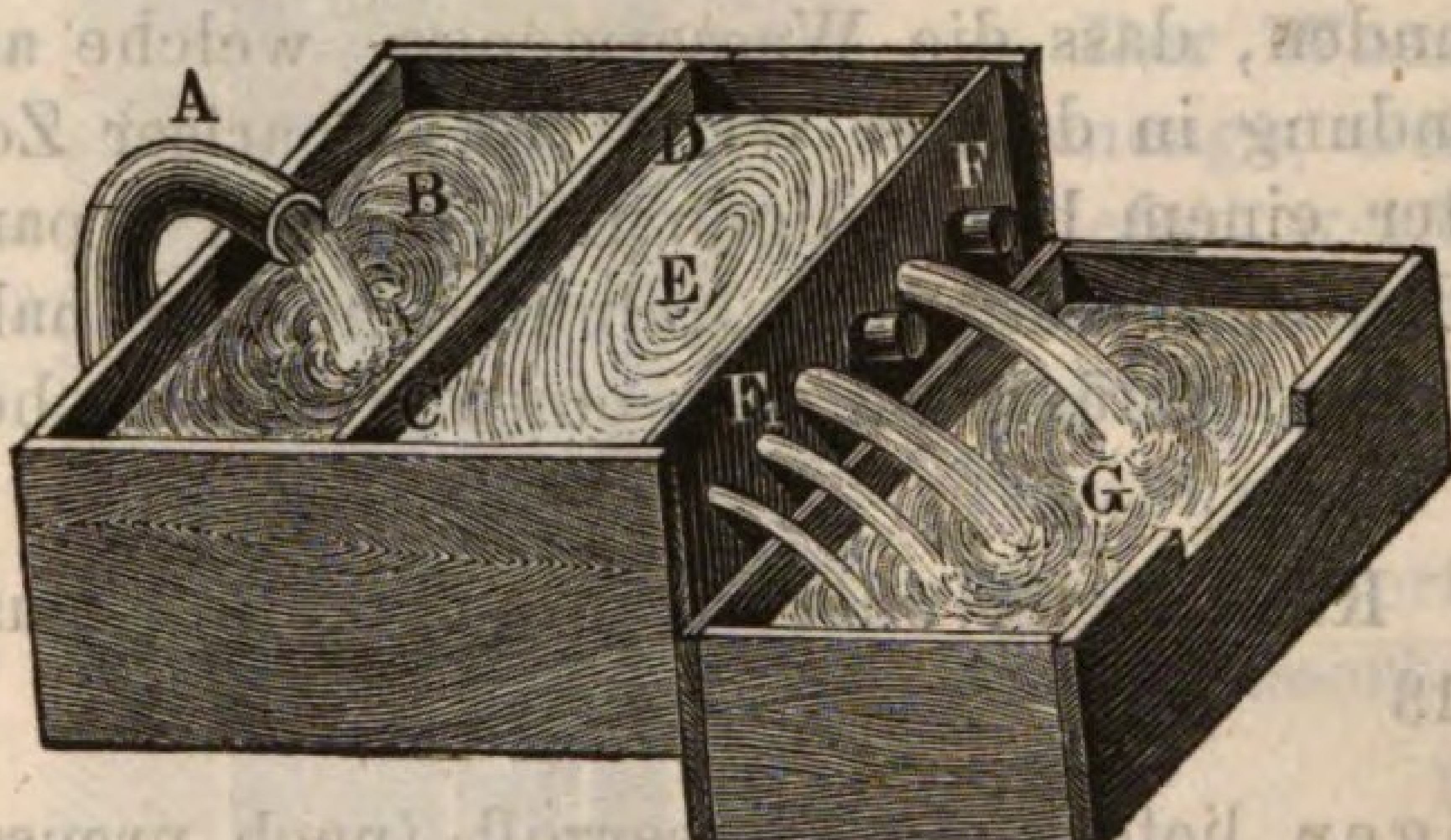


Der Prony'sche Wasserzoll entspricht einem Ausflusse aus einer 2 Centimeter weiten kreisrunden Oeffnung in dünner Wand, versehen mit einem cylindrischen Ansatzrohre von 17 Millimeter Länge, Fig. 240, und einem Wasserstande von 3 Centimeter über der obersten Stelle der Mündung. Um

diesen Wasserstand genau zu bemerken, ist in dieser Höhe über der höchsten Stelle der Oeffnung eine feste Marke *a* angebracht, bei welcher während des Ausflusses der Wasserspiegel einspielen muss. Die Prony'sche Ausflussöffnung liefert unter dem Drucke von 3 Centimeter in 24 Stunden 20 Kubikmeter Wasser; man muss daher in vorkommenden Fällen wohl unterscheiden zwischen dem obigen, gewöhnlich angewandten Wasserzoll und dem Prony'schen.

166 **Messung des Wasserquantums einer Pumpe.** Der Apparat, mit welchem man die Anzahl von Wasserzollen, welche eine Pumpe liefert, bestimmt, ist in Fig. 241 abgebildet. Das Wasser der Pumpe fliesst durch das Rohr *A* in den Kasten *B* und gelangt von diesem durch Löcher, welche unten in der Scheidewand *D* angebracht sind, in den Ausflusskasten *E*. Die Scheidewand *D* zwischen beiden Kästen hat bloss den Zweck, die durch das beständige Zufliessen entstehende unruhige Bewegung des Wassers aufzuheben und in dem Abflusskasten einen still stehenden Wasserspiegel zu erhalten. Aus dem Kasten *E* fliesst das Wasser durch eine horizontale Reihe von genau 1 Zoll weiten und in Blech ausgeschnittenen kreisrunden Oeffnungen *F* in das darunter stehende Reservoir *G*. Da der Wasserspiegel in *E* nur 1 Linie über den höchsten Stellen dieser Löcher *F* stehen darf, so müssen genug Löcher angebracht werden, um damit den Wasserstand in *E* reguliren zu können. Steht der Wasserstand in *E* höher als 1 Linie, so müssen mehr Löcher geöffnet werden, steht er tiefer, so müssen einige Löcher durch Einsetzung von Stöpseln verschlossen werden. Um auf diese Weise den Wasserspiegel ganz genau auf 1 Linie Druckhöhe bringen und erhalten zu können, bringt man auch wohl Mündungen F_1 an, welche gerade $1/2$, $1/4$ Wasserzoll durchlassen. Hat man die Druckhöhe des Wassers in *E* auf 1 Linie gebracht, so zählt man die Anzahl der offenen und wasserlie-

Fig. 241.

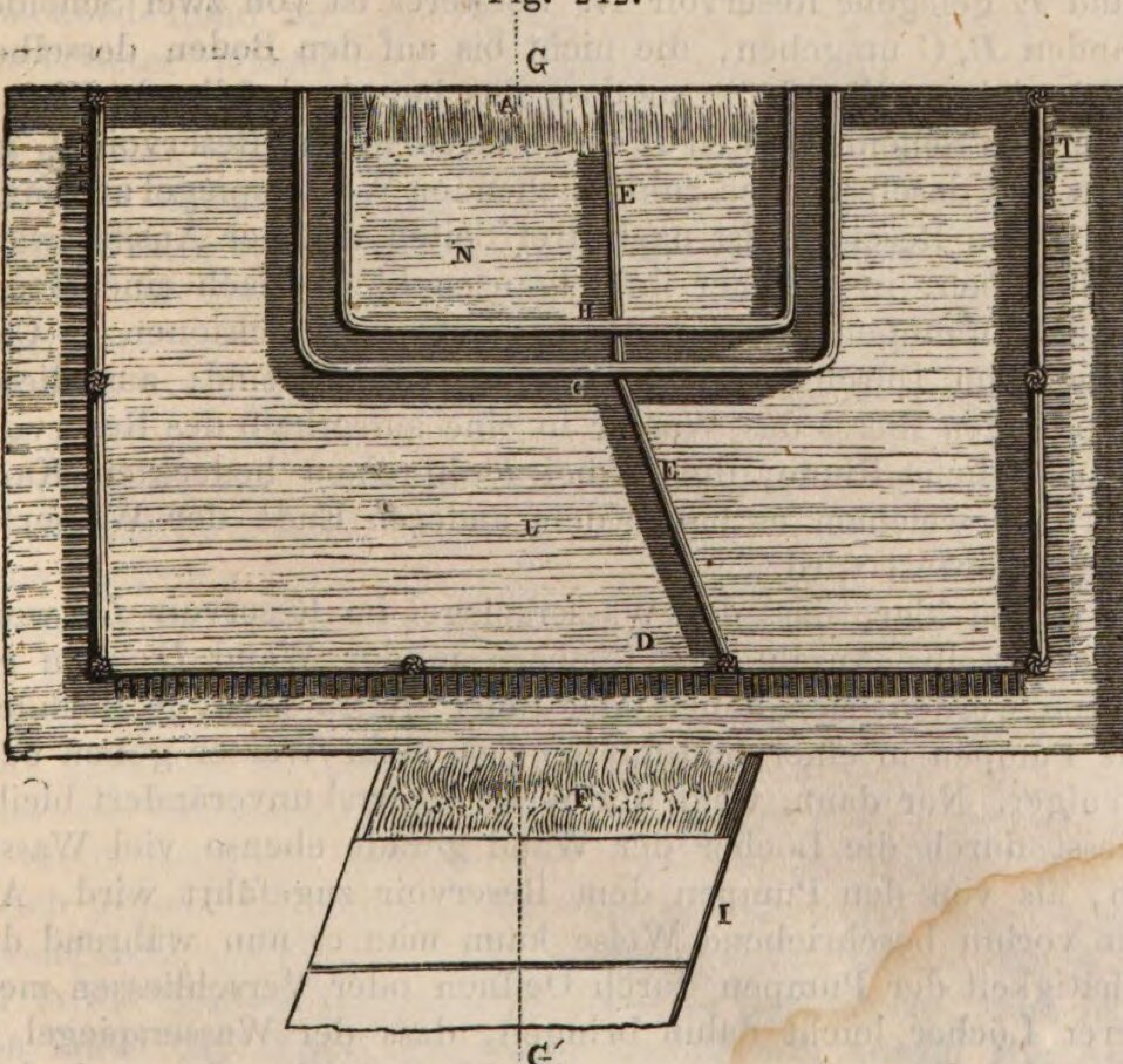


fernden Löcher und multiplicirt diese Zahl mit 520; das Product giebt die Wassermenge in preussischen Kubikfuss, welche die Pumpe in 24 Stunden zu liefern vermag.

Bei grossen Wassermengen lässt man das zu messende Wasser in ein Reservoir mit einer gewissen Anzahl, z. B. 10 oder 100 in wagerechter Linie liegender Oeffnungen fliessen, und leitet nun das von einer dieser Oeffnungen abfliessende Wasser zur weiteren Bestimmung des Wasserzolles in den so eben beschriebenen Messapparat. Durch nachherige Multiplication der gefundenen Wassermenge mit der Anzahl der im ersten Reservoir vorhandenen Löcher findet man dann die Wassermenge, welche die Pumpe zu liefern im Stande ist.

Als Erläuterung zu dem Vorstehenden wollen wir noch die 167
Art und Weise mittheilen, wie man die grosse Wassermenge bestimmt, welche von den zu Marly aufgestellten und in §. 163 beschriebenen 16 Pumpen geliefert wird. Die Fig. 242 zeigt das Vertheilungsreservoir und dessen Abflüsse in horizontalem

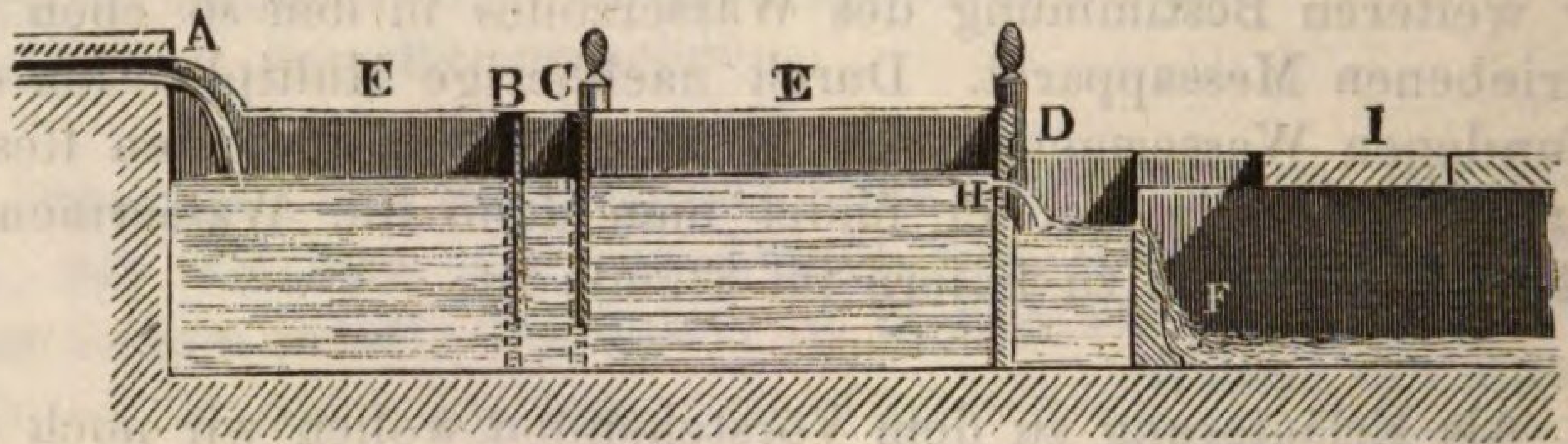
Fig. 242.



Durchschnitte und $^1/_{50}$ natürlicher Grösse; die Fig. 243 zeigt dasselbe in verticalem, nach der Linie GG' genommenem Durchschnitt.

Das von den Pumpen gelieferte Wasser fliesst in Form eines Wasserfalles bei A in ein rectanguläres Reservoir, und zwar das

Fig. 243.



Wasser der durch die beiden Wasserräder getriebenen acht Pumpen in das zur Rechten der Scheidewand E liegende, das der acht anderen Pumpen aber, welche durch die Dampfmaschine getrieben werden, in das links von der Scheidewand E gelegene Reservoir N. Letzteres ist von zwei Scheidewänden B, C umgeben, die nicht bis auf den Boden desselben herabreichen (Fig. 243), so dass das bei A einfallende Wasser unter den Scheidewänden B, C hindurch in das Reservoir L gelangt und daselbst einen ruhig stehenden Wasserspiegel annimmt. Das ganze Reservoir ist nach drei Seiten von der Ausflusswand D umgeben, in welcher ihrer ganzen Länge nach eine Menge Ausflussöffnungen in den Prony'schen Dimensionen (2 Centimeter im Durchmesser §. 165) angebracht sind; aus diesen Mündungen fliesst das Wasser in eine ausserhalb des Reservoirs L befindliche Rinne, die es bei F in einen bedeckten Kanal führt, in welchem es bis zu dem anderen Ende der Wasserleitung befördert wird.

Es ist klar, dass der Wasserspiegel im Reservoir L, wenn stets dieselbe Anzahl von Löchern in der Wand D offen gehalten werden, sich höher oder tiefer stellen wird, je nachdem die Pumpen in einer bestimmten Zeit mehr Wasser geben oder weniger. Nur dann, wenn der Wasserspiegel unverändert bleibt, fliesst durch die Löcher der Wand gerade ebenso viel Wasser ab, als von den Pumpen dem Reservoir zugeführt wird. Auf die vorhin beschriebene Weise kann man es nun während der Thätigkeit der Pumpen durch Oeffnen oder Verschliessen mehrerer Löcher leicht dahin bringen, dass der Wasserspiegel in der Abtheilung L genau an der Marke steht, die nach dem

Prony'schen Wasserzoll 3 Centimeter über den Köpfen der Löcher liegt und irgendwo an der Wand *D* befestigt ist. Die Zustöpselung einiger dieser Löcher sieht man in der Fig. 242 bei *T*. Wenn man es auf diese Weise erreicht hat, dass der Wasserspiegel eine Zeit lang auf dieser Höhe sich erhält, braucht man nur die Anzahl der offenen Löcher zu zählen, um damit zugleich die Anzahl der Wasserzolle zu erhalten, welche von den Pumpen geliefert wird. Eine Multiplication mit 20 giebt nach §. 165 die Wassermenge in Kubikmeter (à 32,3459 preussische Kubikfuss) an, welche die Pumpen in 24 Stunden zu liefern vermögen.

Bei dem Reservoir zu Marly enthält die Abtheilung *N*, welche das von den Dampfpumpen gelieferte Wasser aufnimmt, 90 Löcher; die andere Abtheilung rechts von der Scheidewand *E*, in welche das Wasser der durch die Wasserräder getriebenen Pumpen gelangt, enthält deren 60. Wenn es sich nun ergäbe, dass die letzteren Pumpen, wie sie es bei gutem Zustande wirklich thun, 60 Wasserzoll in die Wasserleitung bringen, so wäre das gleichbedeutend mit der Förderung von 60 mal 20 oder 1200 Kubikmeter Wasser in 24 Stunden. Wenn man sich nun aus §. 163 erinnert, dass dieses Wasser auf eine Höhe von 155 Meter gehoben wird, so ist es leicht zu berechnen, wie viel Pferdekräfte zu dieser Wasserhebung erforderlich sind. Ein Kubikmeter Wasser wiegt nämlich 1000 Kilogramm, 1200 Kubikmeter wiegen also 1200000 Kilogramm; um diese 155 Meter hoch zu heben, ist eine Arbeit erforderlich von 186000000 Kilogrammmeter (I. §. 96); die Pumpen liefern diese Arbeit in 24 Stunden, ihre Leistung ist also in 1 Secunde 2153 Kilogrammmeter oder nach I. §. 231 28,7 Pferdekräfte. Die vereinigte Kraft der beiden Wasserräder, welche diese acht Pumpen in Bewegung setzen, muss natürlich noch grösser sein, da sie ausserdem noch eine beträchtliche Reibung zu überwinden haben.

Die Vertheilung der Wassermengen, welche bei Wasserleitungen den verschiedenen Stadtvierteln zugeführt werden müssen, geschieht in vielen Fällen ganz wie vorhin durch ein besonderes Vertheilungsreservoir. Die ganze Wassermenge wird in dieses Reservoir geleitet und fliesst durch eine Menge von gleich grossen Oeffnungen, die rings herum in der Wand angebracht sind, wieder aus. Die Leitungsröhren, welche das Wasser in die Stadt führen, werden dann so angebracht, dass jede von ihnen das Wasser aus einer bestimmten Anzahl von Ausflussöffnungen erhält, womit dann die einzelnen Stadttheile die-

jenige Wassermenge erhalten, welche eben dem Verbrauche angemessen ist.

168 **Die hydraulische Presse.** Das Princip der hydraulischen Presse haben wir bereits in §. 12 kennen gelernt; es handelt sich also hier darum, die Einzelheiten ihrer Construction näher

Fig. 244.

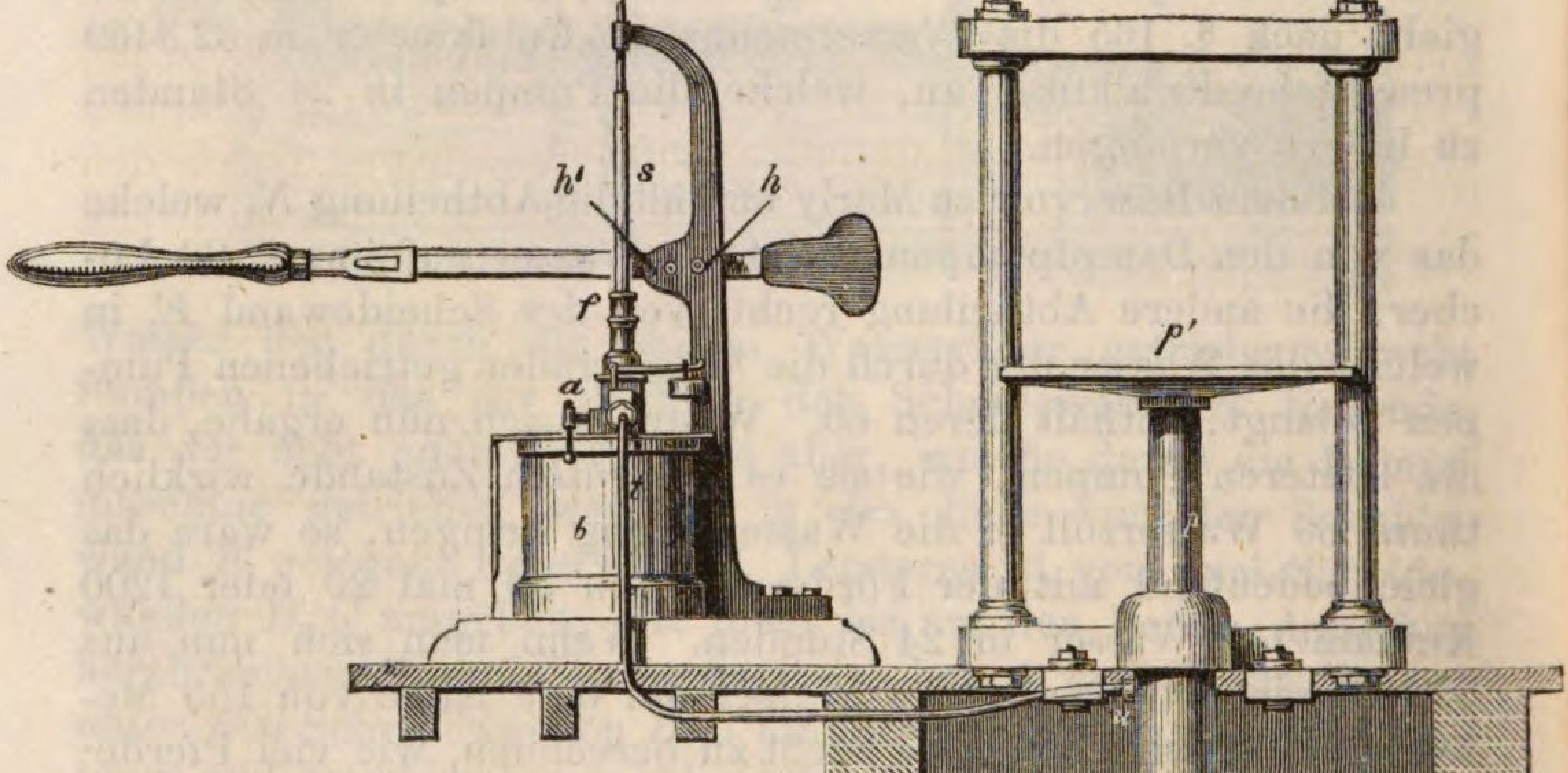
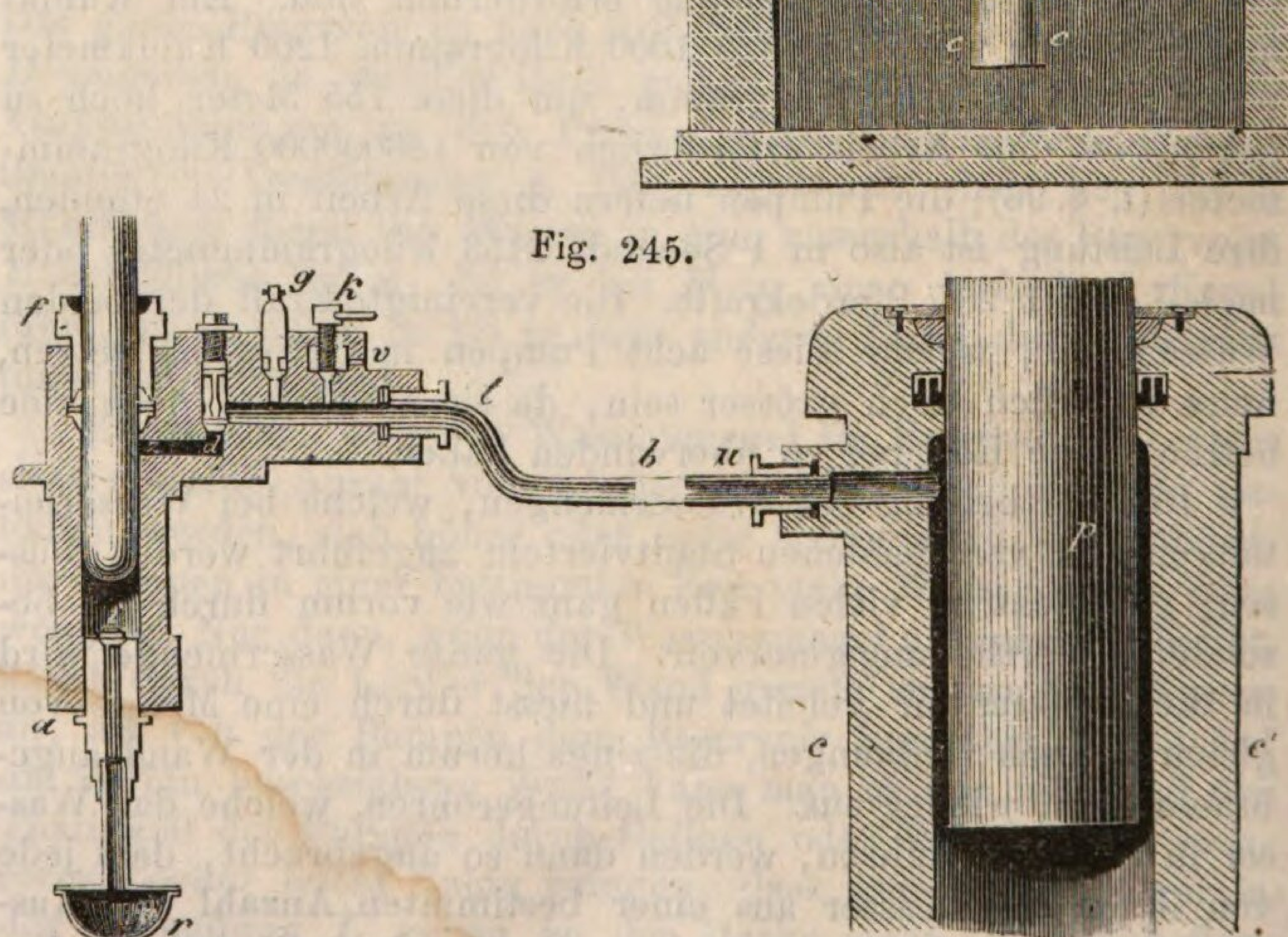


Fig. 245.



zu verfolgen und darnach ihre Wirkungsweise zu bemessen. Die Fig. 244 stellt die ganze Presse dar, Fig. 245 giebt einen verticalen Durchschnitt, um die innere Einrichtung derselben erkennen zu lassen. Der Haupttheil der Presse besteht aus einem sehr starken eisernen Cylinder *cc*, Fig. 245, in welchem sich ein Kolben *p*, Presskolben genannt, wasserdicht auf- und abbewegt; auf den Kolben übt man mittelst des Wassers einen sehr starken Druck aus, der sich auf die zu pressenden Gegenstände weiter überträgt. Zu diesem Zwecke trägt der Kopf des Kolbens *p* eine starke Platte *p'* (Fig. 244), welche dazu bestimmt ist, die zu pressenden Materialien aufzunehmen und durch den Hub des Kolbens gegen eine mit der Presse selbst nicht im Zusammenhange stehende, aber durch eiserne Riegel oder hölzerne Streben stark befestigte Widerlageplatte anzupressen.

Das Wasser wird durch das Rohr *t* mittelst einer kräftigen Druckpumpe in den Cylinder hineingepumpt. Zu diesem Zwecke lässt sich der massive Kolben derselben durch eine Stopfbüchse *f* in dem Pumpenstiefel auf- und abbewegen; die Kolbenstange *s* ist mit einem Hebel verbunden und erhält ihre Geradführung durch eine Oeffnung in dem Gestelle, das dem Hebel zum Drehpunkt dient. Indem man den Handgriff des Hebels auf- und abbewegt, wirkt wie bei jeder anderen Saug- und Druckpumpe der Taucherkolben abwechselnd saugend und drückend. Bei jedem Hube dieses Kolbens steigt das Wasser aus dem unter der Pumpe befindlichen Behälter in die Pumpe, wobei sich das Saugventil *i* öffnet, das Druckventil *d* dagegen sich schliesst; bei jedem Niedergange des Kolbens schliesst sich umgekehrt das Saugventil *i* und öffnet sich das Druckventil *d*, um das gepresste Wasser durch das Rohr *t* in den Presscylinder *cc* gelangen zu lassen. Da der von dem Presskolben *p* ausgeübte Druck durch den Pumpenkolben erzeugt wird, so nennt man diesen zum Unterschiede von jenem den Druckkolben. Auf die beiden anderen in der Fig. 245 noch sichtbaren Ventile kommen wir sogleich zurück.

Um nun den Zusammenhang und die Wirkung dieser Theile zu verstehen, denke man sich vorab sowohl den Presscylinder *cc*, als auch die Pumpe und das Zuleitungsrohr *t* ganz voll Wasser, den Kolben der Pumpe aber in die Höhe gezogen. Wird dann vermittelst des Hebels der Druckkolben herabgedrückt, so muss nothwendig das Wasser, dessen Stelle der Kolben nachher einnimmt, entweichen. Bei diesem Bestreben

schliesst sich sofort das untere Saugventil *i* am Boden der Pumpe, dagegen wird durch denselben Druck das seitliche Druckventil *d* geöffnet und das Wasser aus der Pumpe durch das Rohr *t* in den Presscylinder *c c* gepresst. Da jedoch dieser Cylinder bereits voll Wasser ist, und die Flüssigkeiten nach §. 10 fast gar nicht zusammengedrückt werden können, so muss der Presskolben *p* vor dem aus der Pumpe ankommenden Wasser ausweichen und letzterem Platz machen; der Presskolben geht also in die Höhe und mit ihm die Pressplatte *p'*, Fig. 244.

Da hierbei der innere Raum des Presscylinders mit dem Rohre *t* und dem inneren Pumpenraume eine einzige communicirende Wassermenge bildet, die rings von festen Wänden eingeschlossen ist, so findet das in §. 2 und 3 erwähnte Princip der ungeschwächten Druckfortpflanzung hier seine Anwendung, wonach jeder Flächentheil des Bodens vom Presskolben, der mit dem Querschnitt des Druckkolbens gleiche Grösse hat, auch denselben Druck, wie dieser, erleidet. Ist daher der Querschnitt des Presskolbens *p* 100mal so gross, als der des Druckkolbens in der Pumpe, so bekommt jener einen Druck, der 100mal so gross ist, als der vom Druckkolben ausgeübte Druck. Beträgt z. B. der Druck, womit der Druckkolben in der Pumpe herabgedrückt wird, 200 Pfund, so kommt gegen den 100mal so grossen Querschnitt des Presskolbens *p* ein Druck von $100 \times 200 = 20000$ Pfund zur Wirkung, und mit eben dieser Kraft würden Gegenstände zwischen der Pressplatte *p'*, Fig. 244, und dem Widerlager zusammengepresst werden, wenn nicht die starke Reibung des Presskolbens an der Wand des Cylinders einen ziemlich grossen Theil dieser Kraft absorbirte.

Nachdem nun die Pumpe durch das Niederdrücken des Kolbens ihr Wasser an den Presscylinder abgegeben hat, zieht man den Kolben, um den Pumpenstiefel wieder mit Wasser zu füllen, herauf; das gepresste Wasser des Presscylinders will sofort wieder durch das Druckventil *d* in die Pumpe zurücktreten; allein bei diesem Bestreben schliesst sich das Ventil sofort und versperrt dadurch dem Wasser des Cylinders den Zugang zu der Pumpe, so dass dieses in dem gespannten Zustande unter dem vorigen Druck verbleibt; dagegen bewirkt das Hinaufziehen des Kolbens in der Pumpe, wie gewöhnlich, ein Nachsteigen des Wassers aus dem Pumpenreservoir in den Stiefel, wobei selbstredend der Presskolben *p* still steht.

Wiederholt man auf diese Weise die Bewegung des Hebels mehrere Mal, so geht der Presscylinder in Absätzen oder ruckweise immer weiter gegen das Widerlager vor, und man sieht leicht ein, dass man unter Anwendung eines verhältnissmässig kleinen Druckes die zwischen der Pressplatte *p'* und dem Widerlager befindlichen Gegenstände mit einer ungeheuren Kraft zusammenpressen kann, wenn man nur den Querschnitt des Presskolbens sehr vielmal grösser macht, als den des Druckkolbens; ja dass diese Druckvergrösserung gar keine Gränze hätte, wenn ihr nicht durch die Festigkeit des Materials und die Rücksicht auf die Bequemlichkeit in der Handhabung der Presse sehr bald ein Ziel gesetzt würde.

Wenn nach geschehener Pressung der Kolben *p* wieder in seine ursprüngliche Ruhelage zurückgebracht werden soll, dreht man die in der Leitung *t* befindliche Schraube *k*, Fig. 245, und öffnet dadurch das Rohr *t* nach aussen, so dass das Wasser des Cylinders durch den Kanal *v* abfliessen kann; der Presskolben geht dann entweder durch sein eigenes Gewicht herab, oder man drückt ihn bei horizontaler Lage vermittelst eines Hebels in seine alte Lage zurück.

Die Spannung, in welcher sich das Wasser während der Pressung im Cylinder befindet, ist so gross, dass sich die gewöhnlichen Verdichtungsmittel der Kolben, wie sie bei den Druckpumpen, Dampfmaschinen u. s. w. angewandt werden, hier als unzureichend erweisen. Wenn man bedenkt, dass bei den grossen hydraulischen Pressen, die einen Druck von mehr als einer Million Pfund Druck ausüben, das Wasser durch die Poren der sechs bis acht Zoll dicken Cylinderwand hindurchgepresst wird, und diese Wände dadurch auf der Aussenseite feucht werden, so begreift man leicht, dass auch die kleinste Undichtheit an der Stelle, wo der Presskolben durch den Hals des Cylinders hindurchgeht, das Wasser bald in einer ebenso grossen Menge durchlassen würde, als die Pumpe bei jedem Niedergange des Druckkolbens in den Cylinder hineinpresst, und dass demnach über eine gewisse Gränze hinaus eine andauernde Spannung im Cylinder nicht zu erzielen wäre. Der Druck gegen die Einheit der Fläche ist zwar, wenn das Druckventil *d* offen ist, eben so gross unterhalb des Druckkolbens, wie unter dem Presskolben; gleichwohl würde eine Undichtheit um den Druckkolben herum bei weitem nicht den Nachtheil haben, den irgend eine undichte Stelle um den Presskolben herum mit sich führen würde. Wenn man nämlich den Druckkolben nur etwas

schnell herabbewegt, so hat das von demselben verdrängte Wasser nicht Zeit genug, durch die undichte Stelle zu entkommen und es muss in den Presscylinder hineintreten; hier aber hat das wenige hineingepresste Wasser während der Saugthätigkeit der Pumpe leicht Zeit genug, zu entweichen, wenn sich irgendwo um den Presskolben herum eine undichte Stelle finden sollte.

Eben dieser Umstand war lange Zeit hindurch, nachdem die hydraulische Presse bereits früher von Pascal ausgeführt worden war, die Ursache, dass sie keine praktische Anwendung finden konnte, bis zuerst der englische Ingenieur Bramah eine sehr sinnreiche Liderung erfand, welche die Eigenthümlichkeit besitzt, einen um so besseren und dichteren Verschluss herbeizuführen, je grösser die Spannung des gepressten Wassers im Cylinder ist. Die Bramah'sche Liderung besteht aus einer ringförmigen Lederkappe Q, von welcher in der Fig. 246 etwa ein Drittel abgebildet ist.

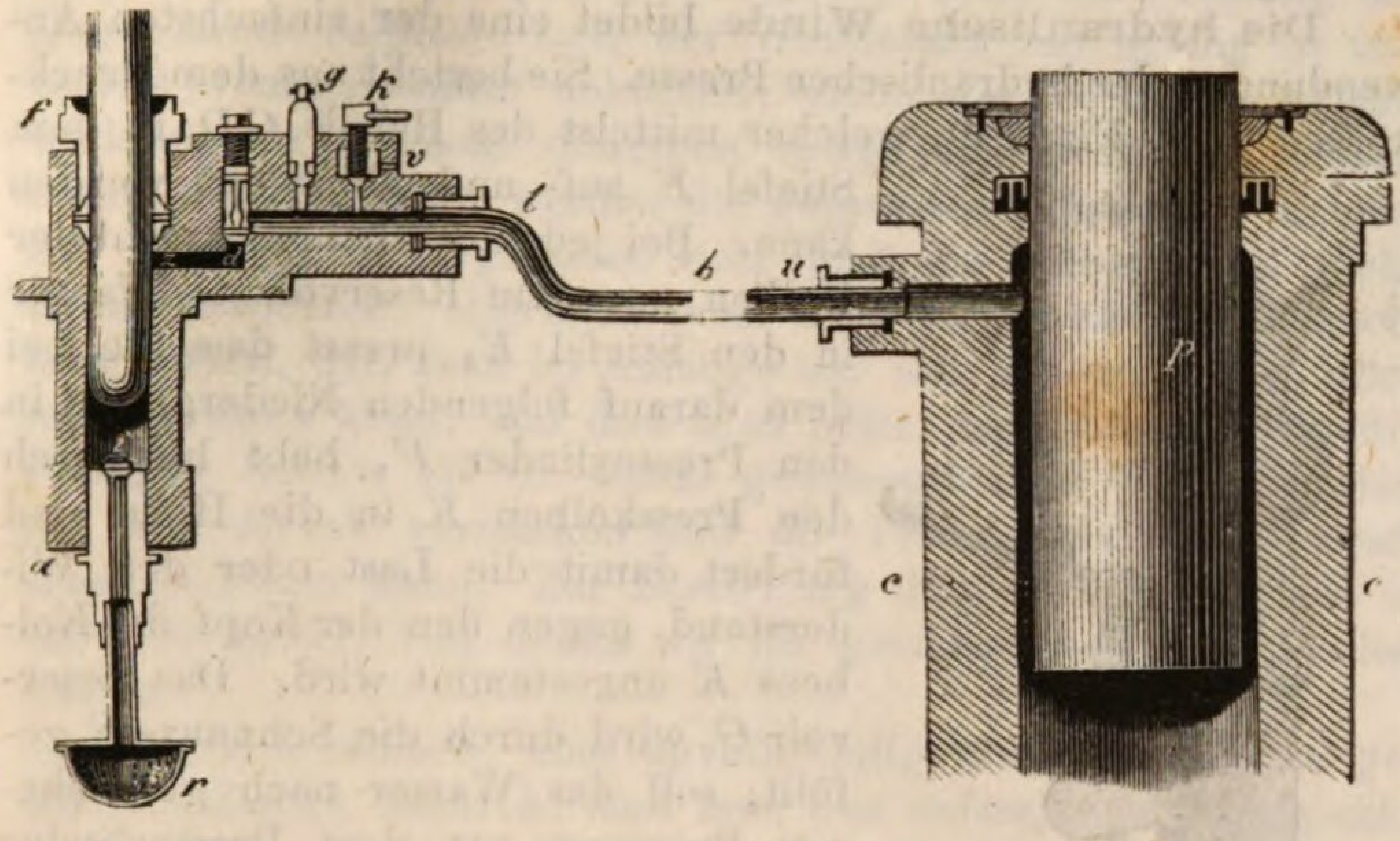
Fig. 246.



Um einen solchen Lederstulp zu verfertigen, schneidet man aus der Mitte einer kreisförmigen ebenen Lederscheibe ein kreisförmiges Stück weg, so dass bloss ein ebenes Ringstück übrig bleibt. Nachdem dasselbe einige Zeit im Wasser gelegen hat und dadurch ganz weich geworden ist, presst man dasselbe über eine Kuppe, so dass die beiden Ränder abwärts gebogen werden und so einen kreisrunden Kanal zwischen sich bilden, der, wie Fig. 246 zeigt, von einem inneren und einem äusseren Lederlappen begränzt wird. In dem Halse des Presscylinders cc, Fig. 247, wird eine ringförmige Aushöhlung angebracht, in welche der ebenfalls ringförmige Lederstulp Q eingesetzt wird; erst wenn dieses geschehen, wird der Presskolben p durch den von dem inneren Lappen des Lederstulps gebildeten Ring in den Presscylinder cc eingeführt, so dass sich stets der innere Lappen an den Presskolben anschmiegt, während der äussere Rand des Lederstulps sich an die Wand des Presscylinders anlegt. Sobald nun die Spannung des Wassers im Presscylinder beginnt, tritt das Wasser in seinem Bestreben, zwischen dem Kolben und der inneren Wand des Cylinders zu entweichen, unter den Lederstulp und drängt dessen Ränder auseinander; der innere Rand wird gegen den Kolben, der äussere Rand gegen die Cylinderwand fest angedrückt. Je mehr der Druck im Innern der Presse zunimmt und je grösser das

Bestreben des Wassers ist zu entweichen, um so stärker werden die beiden Ränder des Stulps auseinander und einerseits gegen

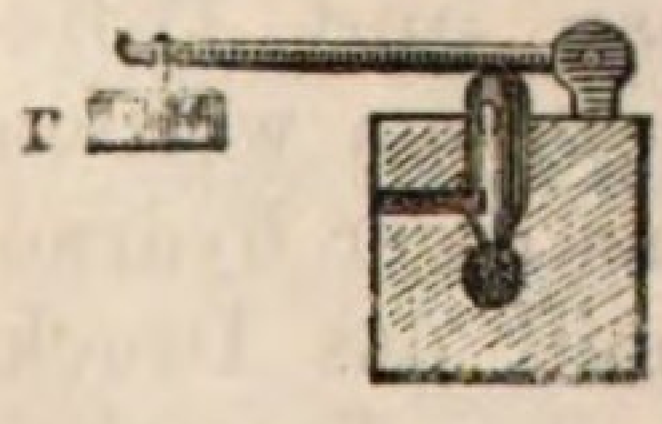
Fig. 247.



die Kolbenwand, andererseits gegen die Cylinderwand gedrückt, so dass das Wasser nirgendwo entweichen kann.

Damit nicht die Presse durch einen zu grossen Druck des Wassers in Gefahr komme, zu bersten, wird allemal in der Nähe der Pumpe ein Sicherheitsventil angebracht, welches durch den Druck des Wassers aufgestossen wird, wenn dieser seine zulässige höchste Gränze überschreitet. In Fig. 248 ist dieses Ventil abgebildet. Wie man sieht, ist das von der Pumpe nach dem Presscylinder führende Rohr *t* durch einen konisch geformten Metallstift *o*, Fig. 248, von einem seitwärts nach aussen führenden Kanal abgeschlossen; der Stift *o* (in Fig. 247 mit *g* bezeichnet) wird in seinem Sitze durch einen einarmigen, an seinem freien Ende mit einem Gewichte *p* beschwerten Hebel festgehalten und kann erst dann sich heben, wenn der Druck des Wassers im Rohre *t* und in der Presse überhaupt grösser ist, als der Druck, den das Gewicht *p* vermittelst des Hebels auf das Ventil ausübt. Das Gewicht *p* wird bei jeder Presse so abgemessen, dass sein Druck auf das Ventil der Gränze entspricht, welche der Druck des Wassers im Innern der Presse nicht überschreiten darf. Wird dieser Druck

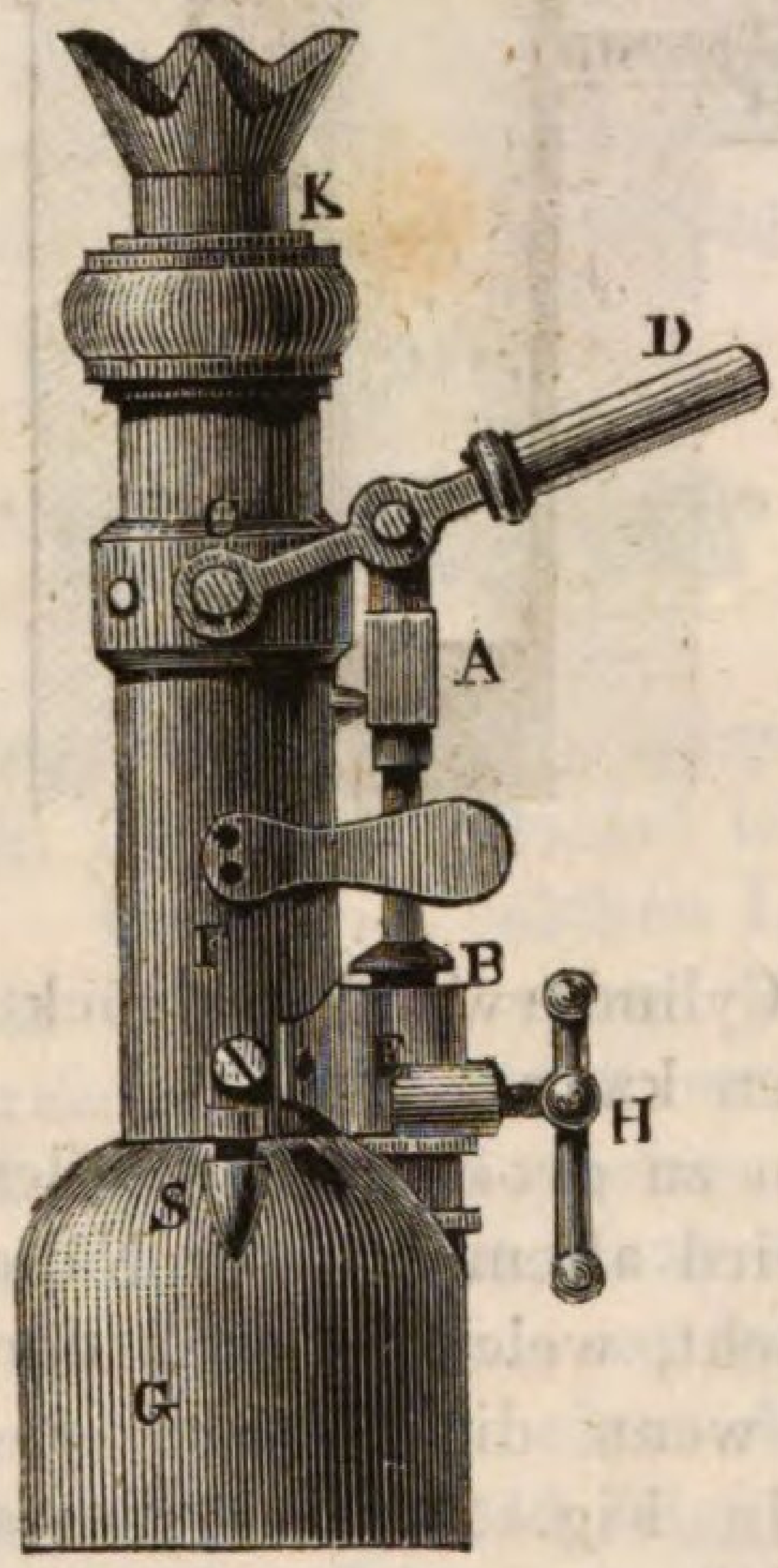
Fig. 248.



wirklich stärker, so hebt er das Ventil *o* in die Höhe und das gepresste Wasser findet durch den seitlichen Kanal einen Ausweg ins Freie.

169 **Die hydraulische Winde** bildet eine der einfachsten Anwendungen der hydraulischen Presse. Sie besteht aus dem Druckkolben *AB*, Fig. 249, welcher mittelst des Hebels *CD* in dem Stiefel *E* auf- und abbewegt werden kann. Bei jedem Kolbenhube zieht der Kolben aus dem Reservoir *G* Wasser in den Stiefel *E*, presst dasselbe bei dem darauf folgenden Niedergange in den Presscylinder *F*, hebt hierdurch den Presskolben *K* in die Höhe und fördert damit die Last oder den Widerstand, gegen den der Kopf des Kolbens *K* angestemmt wird. Das Reservoir *G* wird durch die Schnauze *S* gefüllt; soll das Wasser nach geschehener Pressung aus dem Presscylinder wieder abgelassen werden, so öffnet man durch Drehen des Hebels *H* ein Ventil, welches dann zwischen dem Cylinder und dem Reservoir eine Verbindung herstellt. Bei einiger Anstrengung kann man mittelst einer solchen Winde eine Last von 200 bis 300 Centner heben.

Fig. 249.



170 **Hydraulische Presse mit Röhrenkolben und Differentialkolben.** Es ist bereits in §. 12 nachgewiesen worden, dass, je grösser der Querschnitt des Presskolbens einer hydraulischen Presse im Verhältniss zu dem Querschnitt des Druckkolbens ist, wohl die Kraft der Presse wächst, ihre Thätigkeit aber in demselben Maasse verlangsamt wird. Ist z. B. der Querschnitt des Presskolbens 100mal so gross, als der des Pumpenkolbens, so kann, wenn letzterer 1 Fuss tief herabgeht, der Presskolben nur um $\frac{1}{100}$ Fuss hoch gehoben werden, da das von dem Pumpenkolben verdrängte Wasser im Presscylinder über eine 100mal so grosse Fläche sich ausbreiten kann. Wird bei gleichbleibendem Querschnitt des Druckkolbens der Querschnitt des Presskolbens 2, 3, 4 . . . mal grösser, so wird auch

der Druck des letzteren 2, 3, 4 . . .mal grösser, aber die Pressplatte rückt 2, 3, 4 . . . mal langsamer gegen das Widerlager vor.

Es ist ferner klar, dass anfänglich, wenn die Pressung der Gegenstände beginnen soll, der Widerstand nur gering ist und es viel weniger darauf ankommt, einen starken Druck zu entwickeln, als vielmehr dieselben möglichst schnell zusammenzupressen; später werden die gepressten Substanzen dichter, der Widerstand vergrössert sich, und die Presse muss mehr Kraft entwickeln. Hiernach muss also die Presse die Einrichtung haben, dass man im Anfange nur mit mässiger Kraft, aber rasch pressen kann, und dass man jeden Augenblick, wenn die Pressung bereits bis zu einem gewissen Grade vorgeschritten ist, den Druck verstärken und die Presse mit voller Kraft arbeiten lassen kann. Zur Erreichung dieses Zweckes giebt es mehrere Mittel, von denen wir die gewöhnlicheren mittheilen wollen.

Ziemlich einfach, aber unvollständig erreicht man den genannten Zweck dadurch, dass man den anfänglichen Drehpunkt h des Pumpenhebels, Fig. 244, nach h' verlegt. Dreht sich nämlich anfänglich der Hebel um h und später um h', und haben diese Punkte von dem Aufhängepunkte der Kolbenstange Entfernungen, die sich verhalten wie 2 zu 1, so wird im ersten Falle, wo der Hebel sich um h dreht, der Kolbenhub fast doppelt so gross, der Druck auf den Kolben aber nur nahe halb so gross sein, als wenn der Hebel sich um h' dreht. Dass sich durch die Verlegung des Drehpunktes von h nach h' der Druck des Hebels auf den Pumpenkolben nicht genau verdoppelt, hat seinen Grund darin, dass mit dieser Verlegung sich zugleich die Länge des Hebelarmes vom Drehpunkte bis zum Handgriffe etwas verkleinert. Anfänglich nimmt man nun h als Drehpunkt; der Druck auf den Pumpenkolben und folglich auch auf den Presskolben ist dann zwar nicht sehr stark, aber die Arbeit geht rasch von statten, weil der Hub der Kolben ziemlich gross ist. Wenn man so lange gepresst hat, dass man den Widerstand der zu pressenden Gegenstände nicht mehr überwinden kann, so verlegt man den Drehpunkt h des Hebels nach h'; der Druck der Presse wird dann nahe doppelt so gross, aber die Pressung geht nur halb so geschwind von statten, wie vorhin.

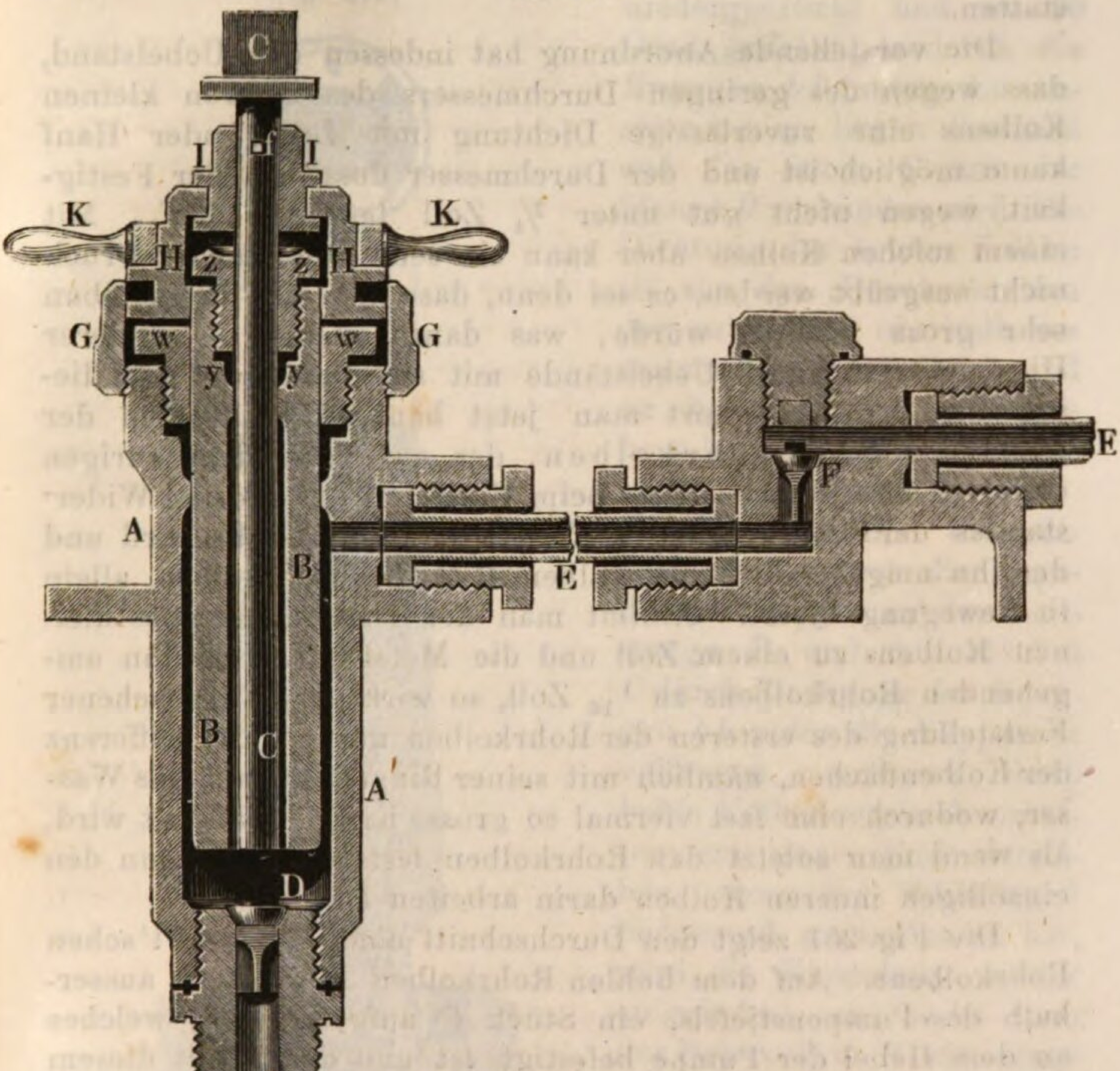
Ein anderes Mittel, denselben Zweck zu erreichen, besteht in der Anwendung von zwei oder mehreren Pumpen, deren

Kolben nur kleine Querschnitte haben. Anfangs lässt man alle Pumpen zugleich arbeiten, was der Wirkung von einer einzigen Pumpe gleichkommt, in welcher der Kolben einen Querschnitt gleich der Summe der Querschnitte der einzelnen Pumpen hat; ist der Druck weiter vorgeschritten, so stellt man eine Pumpe ab, so dass die Wirkung der übrigen Pumpen gleich ist der Wirkung eines einzigen Druckkolbens von kleinerem Querschnitt; indem man so weiter fortschreitet und eine Pumpe nach der anderen abstellt, arbeitet zuletzt, wenn der Widerstand der zu pressenden Gegenstände sonst nicht mehr zu überwinden ist, nur eine einzige Pumpe mit sehr grosser Kraft, aber sehr kleiner Geschwindigkeit. Wenn man nur zwei Pumpen anwendet, giebt man gewöhnlich der einen Pumpe einen grösseren Querschnitt als der anderen, arbeitet zuerst mit beiden Pumpen, stellt darauf die Pumpe mit grösserem Querschnitt ab und arbeitet zuletzt nur mit der engen Pumpe. Das Abstellen der Pumpen geschieht meist durch Hebung und Feststellung des Saugventils, wodurch den Pumpenkolben gestattet wird, beständig in Bewegung zu bleiben, ohne für die Pressung mitzuwirken; das von ihnen jedesmal aufgesaugte Wasser fliesst nämlich durch das offene Saugventil in das Reservoir wieder zurück, so dass die Arbeit der Presse gerade so vor sich geht, als ob die abgestellte Pumpe gar nicht in Thätigkeit wäre.

In den meisten Fällen gebraucht man jedoch statt mehrerer Pumpen nur eine einzige Pumpe mit einem doppelten Kolben. Eine solche Einrichtung zeigt Fig. 250; *AA* ist der Pumpenstiefel, der unten das Saugventil *D* und in dem Seitenarm bei *F* das Druckventil enthält, welches das Wasser aus der Pumpe in das Verbindungsrohr *E* und von da in den Presscylinder führt. Der äussere und weitere Kolben *BB* ist hohl und lässt den inneren, engeren und massiven Kolben *C* durch seine Höhlung frei durchpassiren; der Kolben *BB* hat seine Liderung gegen die Wand des Stiefels, der innere Kolben *C* hat sie natürlich in dem ihn umgebenden Kolben. Eine ziemlich zusammengesetzte Anordnung der drei Scheiben *G*, *H*, *I*, die mit lappenförmigen Ansätzen und entsprechenden Ausschnitten versehen sind, kuppelt die beiden Kolben fest zusammen oder hebt die Verbindung zwischen ihnen auf, je nachdem man die oberste Scheibe *HH* mittelst der Handhaben *KK* um 45 Grad dreht oder nicht. Beim Beginne der Arbeit werden die beiden Kolben zusammengekuppelt und der mit-

telst des Pumpenhebels auf- und abbewegte Kolben *CC* nimmt den ihn umgebenden Kolben *BB* mit; die drückende Kolben-

Fig. 250.



fläche ist daher gleich der Summe der Querschnitte beider Kolben; die Presse arbeitet dabei zwar nur mit verhältnissmässig schwacher Kraft, aber dafür um so geschwinder. Ist der Widerstand der zu pressenden Gegenstände so gross geworden, dass man ihn mit den gekuppelten Kolben nicht mehr überwinden kann, so werden die Handhaben *KK* um 45 Grad umgelegt und dadurch einerseits der äussere Kolben *BB* festgestellt, andererseits gleichzeitig der innere Kolben *CC* von dem äusseren losgelöst. Es arbeitet von nun an in der Druckpumpe nur der innere Kolben *CC* von kleinem Querschnitt. Die Kraft der Presse wächst sofort in dem Maassstabe, wie

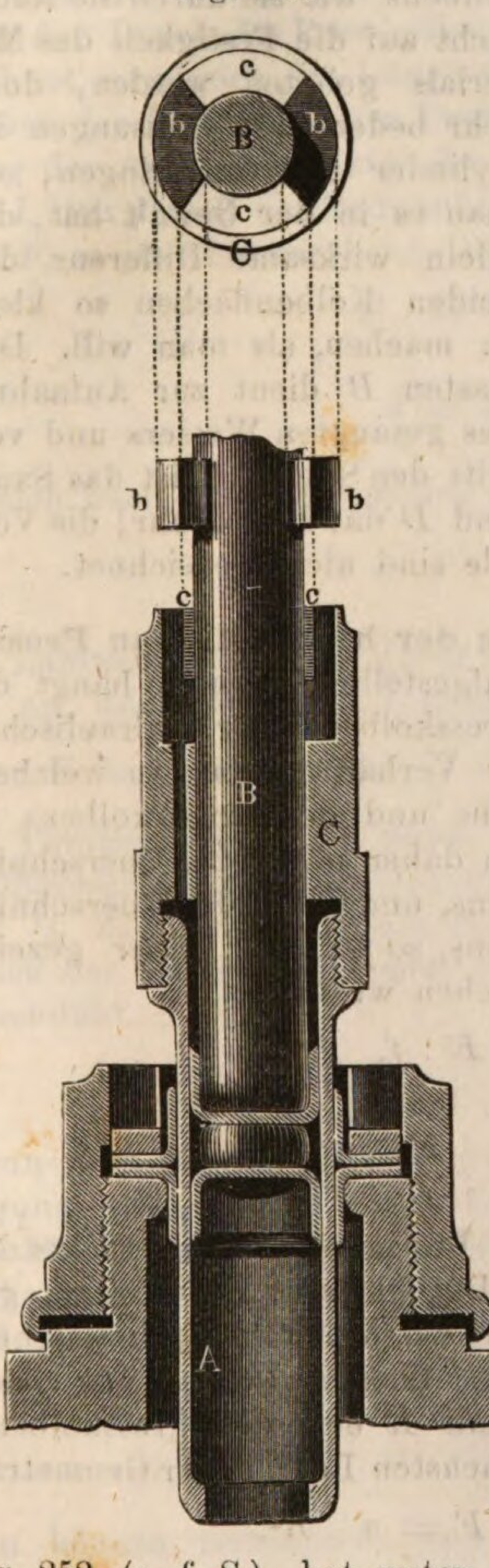
der Querschnitt dieses Kolbens kleiner ist, als der Querschnitt der beiden Kolben zusammengenommen; aber die Arbeit geht von da ab auch in demselben Maasse langsamer von statten.

Die vorstehende Anordnung hat indessen den Uebelstand, dass wegen des geringen Durchmessers des inneren kleinen Kolbens eine zuverlässige Dichtung mit Leder oder Hanf kaum möglich ist und der Durchmesser desselben der Festigkeit wegen nicht gut unter $^3/_4$ Zoll betragen darf. Mit einem solchen Kolben aber kann ein sehr bedeutender Druck nicht ausgeübt werden, es sei denn, dass man den Presskolben sehr gross machen würde, was dann wieder in anderer Hinsicht mancherlei Uebelstände mit sich brächte. Aus diesen Gründen construirt man jetzt häufig den Kolben der Druckpumpe als Rohrkolben, der sich von dem vorigen dadurch unterscheidet, dass beim Eintreten des grossen Widerstandes der innere massive Kolben *CC* festgestellt wird und der ihn umgebende hohle Kolben *BB*, der Rohrkolben, allein in Bewegung bleibt. Nimmt man den Durchmesser des kleinen Kolbens zu einem Zoll und die Metallstärke des ihn umgebenden Rohrkolbens zu $^1/_{16}$ Zoll, so wirkt nach geschehener Feststellung des ersteren der Rohrkolben nur mit der Differenz der Kolbenflächen, nämlich mit seiner Ringfläche, auf das Wasser, wodurch eine fast viermal so grosse Kraft entwickelt wird, als wenn man zuletzt den Rohrkolben feststellt und dann den einzölligen inneren Kolben darin arbeiten lässt.

Die Fig. 251 zeigt den Durchschnitt eines Hummel'schen Rohrkolbens. Auf dem hohlen Rohrkolben *A* ist oben, ausserhalb des Pumpenstiefels, ein Stück *C* aufgeschraubt, welches an dem Hebel der Pumpe befestigt ist und daher mit diesem auf- und abbewegt wird. *B* ist die Leitstange, welche einestheils zur Geradeführung des Kolbens dient und zu diesem Zwecke durch eine in dem Gestelle angebrachte feste Oeffnung hindurchgeht, anderntheils aber den dicht darunter stehenden massiven Druckkolben vorzuschieben und wirken zu lassen, oder auch ihn ausser Thätigkeit zu setzen hat. Die Leitstange *B* geht durch das Stück *C* entweder frei hindurch, und dann ist offenbar bei der Bewegung des Pumpenhebels und des Stückes *C* die alleinige Wirkung des Rohrkolbens *A* vorhanden, oder es lässt sich *B* mit *C* kuppeln. Letzteres geschieht durch die am Kopfe der Leitstange *B* angebrachten, vorspringenden Knaggen *bb* und zwei

ähnliche in dem Stücke *C* angebrachte und im Innern desselben ebenfalls vorspringende Ansätze *c c*. Bei der Kuppelung wird die Leitstange *B* niedergedrückt und um 90 Grad gedreht, wodurch die Knaggen *b b* unter die Ansätze *c c* zu liegen kommen und das Stück *C* mit der Stange *B* verbunden wird. Die Dichtung der beiden Kolben ist aus den Durchschnitten der unter- und oberhalb des massiven Druckkolbens und an den Seiten des Rohrkolbens befindlichen Lederstülpe leicht zu erkennen.

Fig. 251.

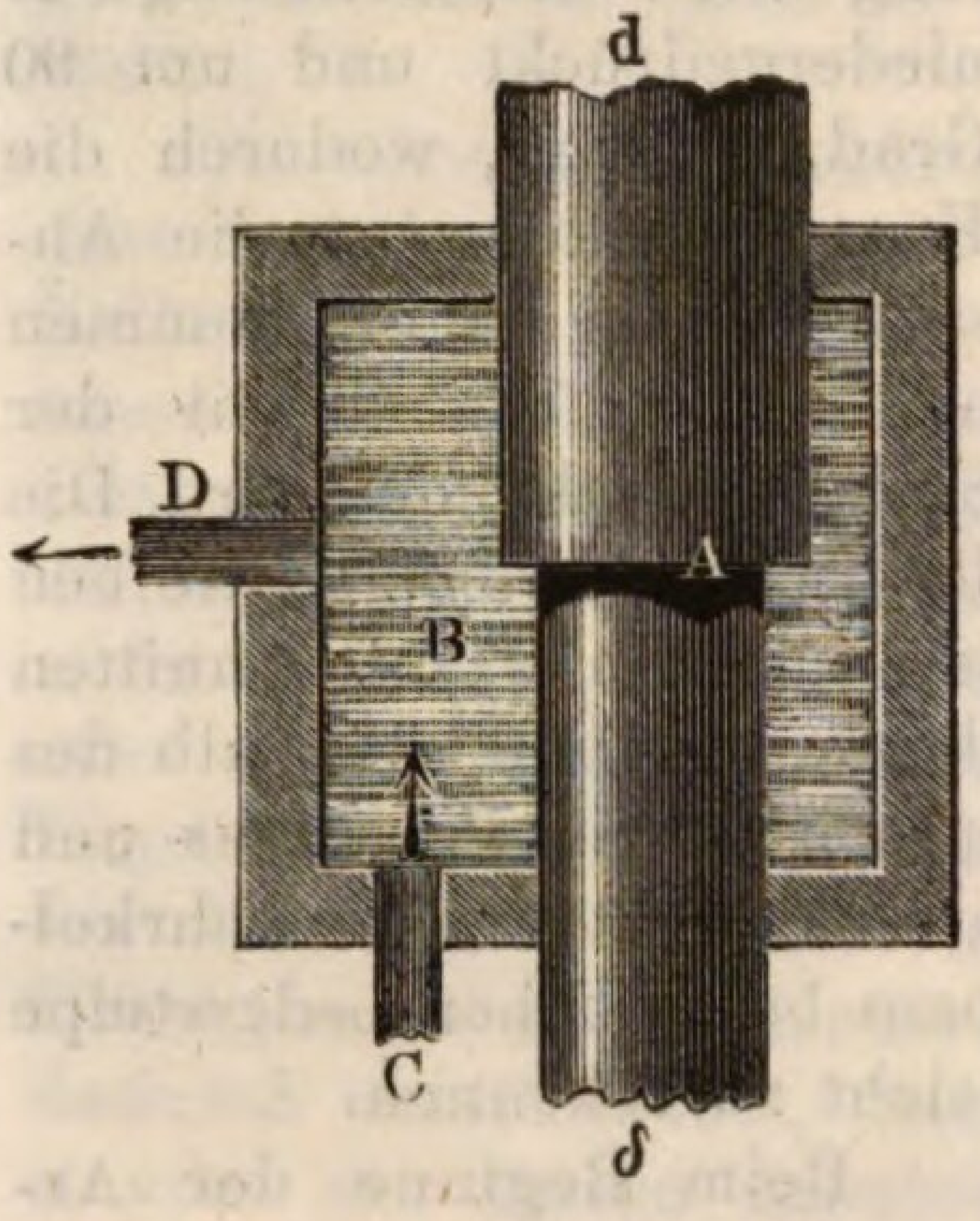


Beim Beginne der Arbeit wird zuerst die angedeutete Kuppelung der Leitstange *B* und des Stückes *C* durch Einfügung der Knaggen *b b* unter die Lappen *c c* vollzogen, wodurch dann beide Kolben zugleich arbeiten; erst gegen Ende derselben, wenn der Widerstand bedeutend zugenommen hat, wird die Kuppelung wieder aufgeboben, und es ist dann der Rohrkolben *B* mit seiner sehr kleinen ringförmigen Druckfläche allein wirksam.

Sehr häufig, ja fast allgemein construirt man jetzt bei den gewöhnlichen hydraulischen Pressen sogenannte Differentialkolben für die Druckpumpen. Der massive Kolben *A*, Fig. 252 (a. f. S.), hat unten und oben verschiedene Durchmesser d und δ, so dass nur die Differenz der Kolbenflächen, nämlich die über den kleinen Kolben hervortretende Ring-

fläche einen wirksamen Druck auf das Wasser ausübt. Es ist dadurch gestattet, auch bei grösseren Dimensionen des Druckkolbens, wie sie durch die Rücksicht auf die Festigkeit des Materials geboten werden, doch sehr bedeutende Pressungen im Cylinder hervorzubringen, da man es in der Gewalt hat, die allein wirksame Differenz der beiden Kolbenflächen so klein zu machen, als man will. Der Kasten *B* dient zur Aufnahme des gesaugten Wassers und vertritt den Stiefel, *C* ist das Saug- und *D* das Druckrohr; die Ventile sind nicht gezeichnet.

Fig. 252.



171 **Druck und Arbeitsleistung der hydraulischen Presse.** Nach dem in §§. 3 und 12 aufgestellten Princip hängt die Grösse des Druckes, den der Presskolben einer hydraulischen Presse ausüben kann, von dem Verhältnisse ab, in welchem die Querschnitte des Presskolbens und des Druckkolbens zu einander stehen. Bezeichnet man daher mit f den Querschnitt, mit d den Druck des Druckkolbens, und mit F den Querschnitt, mit D den Druck des Presskolbens, so ist, wie früher gezeigt wurde, wenn von Reibung abgesehen wird:

$$D : d = F : f,$$

also der Druck des Presskolbens:

$$D = d \cdot \frac{F}{f}.$$

Man sieht hieraus, dass es bei der Bestimmung des Druckes des Presskolbens auf die einzelnen Durchmesser der Kolben gar nicht ankommt, sondern nur auf das Verhältniss, in welchem ihre Flächen zu einander stehen. Bezeichnet man mit r den Halbmesser des Druckkolbens, mit R den des Presskolbens, so ist bekanntlich nach den einfachsten Lehren der Geometrie:

$$f = \pi \cdot r^2 \text{ und } F = \pi \cdot R^2,$$

daher auch:

$$D = d \cdot \frac{\pi \cdot R^2}{\pi \cdot r^2} = d \cdot \frac{R^2}{r^2};$$

woraus folgt, dass der Druck des Presskolbens wie das Verhältniss aus den Quadraten der Kolbenhalbmesser zunimmt. Wenn z. B. bei gleichbleibendem Druckkolben der Halbmesser des Presskolbens 2, 3, 4 . . . mal so gross genommen wird, so wird der Druck des Presskolbens 4, 9, 16 . . . mal so gross. Bezeichnet man noch die Länge des Pumpenhebels vom Angriffspunkte der Kraft bis zum Drehpunkte mit L, und die Entfernung des Aufhängepunktes der Kolbenstange vom Drehpunkte mit l, den Druck am Endpunkte oder am Handgriff des Hebels mit P, so ist offenbar beim Gleichgewichte:

$$P \,.\, L = d \,.\, l,$$

oder:

$$d = P \,.\, \frac{L}{l},$$

folglich nach dem Obigen der Druck des Presskolbens:

$$D = P \cdot \frac{L}{l} \cdot \frac{R^2}{r^2}.$$

Ein Zahlenbeispiel wird dieses noch näher erläutern. Nehmen wir an, dass der Hebel L 6mal so lang ist, als der Hebelarm l der Kolbenstange, so ist $\frac{L}{l} = 6$. Wirkt nun am Endpunkte des Pumpenhebels eine Kraft P von 50 Pfund, und sind die Halbmesser des Presskolbens und des Druckkolbens resp. 8 Zoll und $\frac{1}{2}$ Zoll, so ist, wenn von Reibung abgesehen wird, der Druck der Pressplatte gegen das Widerlager nach dem Vorstehenden:

$$D = 50 \,.\, 6 \cdot \frac{64}{\frac{1}{4}} = 76800 \text{ Pfund.}$$

Wenn man aber den Hebel mit einer Dampfmaschine in Bewegung setzt, und auf den Endpunkt desselben einen Druck von 500 Pfund ausübt, und wenn dabei, wie es in der Praxis vorkommt, die Halbmesser des Press- und Druckkolbens 10 Zoll und $\frac{1}{2}$ Zoll sind, so ist der Druck des Presskolbens und der Pressplatte gegen das Widerlager:

$$D = 500 \cdot 6 \cdot \frac{100}{\frac{1}{4}} = 1200000 \text{ Pfund.}$$

Man könnte vermuthen, dass die Form der unteren Fläche des Presskolbens auf die Grösse des Druckes von Einfluss sei, dass z. B. dieser Druck grösser würde, wenn man diese Fläche

concav mache, dass er dagegen verkleinert werde, wenn man sie in eine Spitze auslaufen lasse. Allein aus den in §. 16 und ff. erörterten Gesetzen über den Druck einer Flüssigkeit auf die Seitenwände geht hervor, dass der Gesammtdruck, welcher auf den Presskolben wirkt, nicht von der Form des in der Flüssigkeit eingetauchten Theiles desselben, sondern ausschliesslich von der Grösse seines durch die Mitte des Lederstulps genommenen Querschnittes abhängt. Ist dieser Querschnitt 10, 100, 1000 mal so gross, als der Querschnitt des Druckkolbens (ebenfalls in der Liderung genommen), so ist auch der Druck des Presskolbens 10, 100, 1000 mal so gross, als der des Druckkolbens. In dieser Beziehung ist ein grosser Unterschied vorhanden zwischen dem Druck, den ein Körper in einer ruhenden und in einer bewegten Flüssigkeit erleidet. Im letzteren Falle kann nämlich der Druck der Flüssigkeit gegen zwei Körper von gleichem Querschnitte und bei einer und derselben Geschwindigkeit der bewegten Flüssigkeit doch sehr verschieden sein, je nach der Gestalt der Körper und der Form der Oberfläche, welche sie der bewegten Flüssigkeit darbieten.

Die Arbeit, welche eine hydraulische Presse in einer gewissen Zeit leistet, wird erhalten, wenn man den in Pfunden ausgedrückten Druck des Presskolbens multiplicirt mit dem in Fuss ausgedrückten Wege, auf welchem dieser Druck überwunden worden ist. Beträgt dieser Druck beständig D Pfund und der Hub des Presskolbens h Fuss, so hat die Presse eine Arbeit von $D \times h$ Fusspfund geleistet. Nun ist leicht einzusehen, dass der Endpunkt des Pumpenhebels in der Zeit, in welcher der Presskolben diese Arbeit leistet, genau dieselbe Arbeit ausführen muss. Denn nehmen wir unter Beibehaltung der Zahlenwerthe des zuletzt berechneten Beispiels an, dass der Endpunkt des Pumpenhebels bei einem Kolbeniedergange eine Strecke von 1 Fuss durchlaufe, so ist seine Arbeit unter dem angenommenen Druck von 500 Pfund offenbar 500 Fusspfund. Bei dem Hebelverhältnisse von 6 zu 1 durchläuft dann der Pumpenkolben $^1/_6$ Fuss; dagegen kann der Presskolben, dessen Querschnitt (bei dem Verhältnisse der Halbmesser von 10 : $^1/_2$) 400 mal so gross ist, als der Querschnitt des Pumpenkolbens, nur einen 400 mal kleineren Weg, also nur $\frac{1}{2400}$ Fuss durchlaufen. Wie vorhin berechnet wurde, war aber der Druck des Presskolbens 1200000 Pfund, seine Arbeit in dieser

Zeit ist also $1200000 \times \frac{1}{2400} = 500$ Fusspfund, d. h. genau ebenso gross, als die Arbeit der Kraft am Endpunkte des Hebels war. Es braucht wohl nicht hinzugefügt zu werden, dass, wenn der Presskolben einen solchen Effect als Nutzarbeit leisten soll, die Druckpumpe, welche hier als Motor zu betrachten ist, eine entsprechend grössere Arbeit leisten muss, von welcher dann ein Theil verwendet wird, um die nicht unbedeutenden Widerstände der Kolben und des Wassers zu überwinden, und der Rest die geforderte Nutzarbeit darstellt.

Anwendung der hydraulischen Presse. Die hydrauli- 172
schen Pressen finden gegenwärtig die mannigfaltigsten Anwendungen in der Industrie und der Technik; je nach dem Zwecke, für welchen sie bestimmt sind, erhält der Presscylinder eine verticale oder eine horizontale Lage, und ebenso treten in der Art und Weise, wie der Kopf des Presskolbens auf die zu pressenden Gegenstände einwirkt, mannigfache Verschiedenheiten hervor. Man bedient sich dieser Pressen in den Tuch- und anderen Fabriken zum Pressen und Glätten der Zeuge, in den Buchdruckereien zum Glätten der durch den Typendruck uneben gewordenen Papierbogen, in den Oelfabriken zum Auspressen der ölhaltigen Saamenkörner, bei der Stearinfabrikation zum Auspressen des festen Stearins aus den Fetten; ausserdem noch zum Zusammenpressen faseriger und poröser Stoffe, z. B. von Flachs, Baumwolle, Torf, Heu u. s. w., damit dieselben behufs der Versendung und der Aufbewahrung einen möglichst kleinen Raum einnehmen. Ueberall, wo es sich vorzugsweise um die Anwendung eines sehr starken Druckes handelt, erweist sich die hydraulische Presse als besonders geeignet; mit ihrer Hülfe werden die starken eisernen Schiffskabel, die Anker, die Ketten, die Schienen und Bänder der eisernen Brücken und sonstige zu Bauten erforderliche Materialien vor ihrem Gebrauche auf ihre Festigkeit geprüft; durch ihren Druck werden die Räder der Eisenbahnwagen auf ihre Achsen gepresst, und das Blei wird dadurch über besondere Dornen zu Röhren ausgepresst.

Um eine Anschauung davon zu geben, in welchen grossartigen Dimensionen man gegenwärtig hydraulische Pressen anwendet und welchen enormen Druck man damit ausüben kann, wollen wir noch der Presse Erwähnung thun, welche im Jahre 1850 dazu angewandt wurde, um die eisernen Röhrenbrücken zu heben, welche über den Menay-Kanal zur Verbindung der Insel

Anglesey mit Nordwales gelegt wurden. Wie aus den Figuren 253 und 254 hervorgeht, stand der Cylinder *B* einer jeden Presse

Fig. 253.

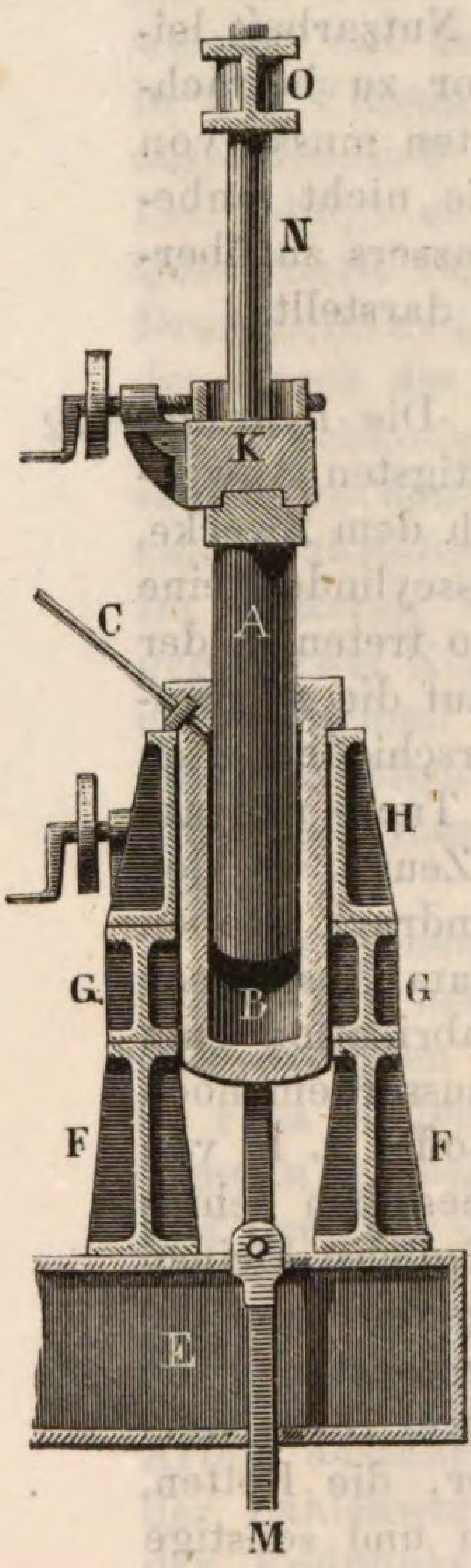
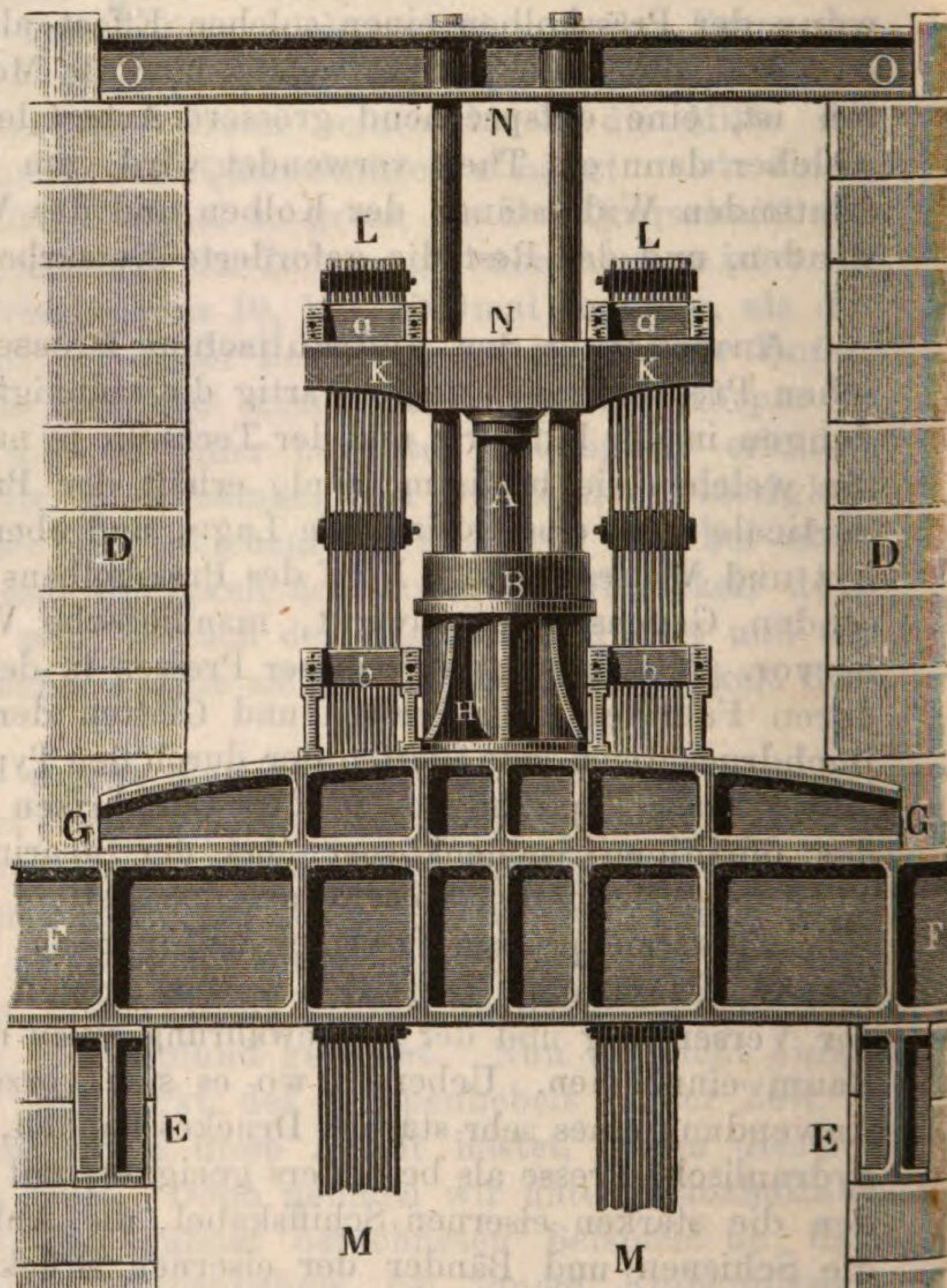


Fig. 254.



im Innern der thurmförmigen Brückenpfeiler *DD* 40 Fuss über der Lagerstelle der Brückenröhre auf zwei gusseisernen Trägern *GG*, welche von zwei aus schmiedeeisernen Platten zusammengefügten Trägern *FF* getragen wurden; letztere ruhten endlich auf zwei starken eisernen Balken *EE*. Die zu hebenden vier eisernen Röhren waren 460 Fuss lang, wogen je 1726 Tonnen (à 20 Centner) und waren durch starke eiserne Bandketten *MM* mit dem Querhaupte *KK* der Presskolben *A* fest verbunden. Die beiden auf dem Presscylinder stehenden eiser-

nen Stangen *NN* dienten dem Querhaupte *KK* als Leitstangen und wurden oben durch den eisernen Balken *OO* gehalten. Die Pumpen wurden durch Dampfmaschinen von je 40 Pferdekraft in Bewegung gesetzt und führten ihr Wasser dem Presscylinder *B* durch das Rohr *C* zu. Um bei etwaigem Zerbersten einer Presse (was wirklich unter Verlust eines Menschenlebens einmal eintrat) oder beim Zerreissen einer Kette das Herabstürzen der ganzen schwebenden Röhre zu verhindern, wurden die Röhrenenden gleich während ihrer Hebung untermauert.

Drei hydraulische Pressen kamen bei der Legung dieser sogenannten Britaniabrücke zur Anwendung, eine grössere von 10 Fuss Länge, 11 Zoll Wandstärke und 20 Zoll lichtem Durchmesser, und zwei kleinere von 18 Zoll lichtem Durchmesser; diese letzteren hoben gemeinschaftlich an einem Ende, während die erstere Presse das entgegengesetzte Ende allein in die Höhe zog.

Der Druckkolben in der Pumpe hatte nur $1^1/_{16}$ Zoll Durchmesser und sass mit dem Dampfkolben auf einer und derselben horizontalen Stange. Das grösste Gewicht, welches die grössere Presse hob, war 1144 Tonnen, also über 2 Millionen preussische Pfund.

Verschiedene Systeme von Lampen. Da der Process der 173
Verbrennung, die Theorie der Flamme und die Lehre von der Beleuchtung nicht hierhin, sondern in das Gebiet der chemischen Technologie gehört, so beschäftigen wir uns in dem Folgenden, gewissermaassen als Anwendung der bereits bekannten Principien, nur mit den mechanischen Einrichtungen der Lampen.

In den meisten Lampen wird das Licht durch die Verbrennung des gewöhnlichen Oels oder anderer leicht brennbarer Flüssigkeiten erzeugt. Um diese Verbrennung zu bewirken, saugt man durch einen Docht von Baumwolle das Oel aus einem Behälter etwas in die Höhe, so dass sich dasselbe im Dochte in einem fein vertheilten Zustande und von dem übrigen Oel getrennt befindet; das Oel des Dochtes wird dann angezündet und ersetzt sich in dem Maasse, als es verbrennt, in Folge der Capillarwirkung der Dochtfasern aus dem Oelbehälter, so dass ununterbrochen frisches Oel in den Docht eintritt und dieser nur auf eine kleine Strecke am obersten Rande verkohlt.

Um die Verbrennung zu befördern und ein intensives Licht zu erhalten, nahm Argand schon im Jahre 1789 hohle Dochte von cylindrischer Form und stellte sie derartig auf, dass ein kräftiger Luftzug ihre äussere und innere Seite einhüllen

musste. Der Argand'sche Brenner besteht daher aus zwei in einander geschachtelten Blechcylindern *c*, *d*, Fig. 255, welche einen ringförmigen unten geschlossenen Zwischenraum *i* zwischen sich fassen; letzterer dient zur Aufnahme des Dochtes und des in den Docht zu führenden Oels. Der Docht wird gewöhnlich auf die eine oder die andere Weise in einem Ringe oder zwischen Klammern eingeklemmt und kann mittelst eines Triebes höher oder tiefer gestellt werden. Der innere Cylinder ist unten und oben offen, damit die atmosphärische Luft, welche den zum Verbrennen des Oels erforderlichen Sauerstoff enthält, in der Richtung von unten nach oben frei hindurchstreichen und in die Flamme gelangen kann. Auf diese Weise wird erreicht, dass der innere hohle Cylinder beständig einen Luftstrom in die Mitte der Flamme hineinführt und letztere sich stets zwischen zwei concentrischen Strömen dieser Art befindet. Um diesen Luftzug noch zu verstärken wird der Brenner mit einem Glascylinder *b* umgeben, der wie ein Kamin wirkt, und nach Maassgabe der durch die Verbrennung erzeugten Temperatur sowie seiner Höhe die Geschwindigkeit der Gas- und Luftströme und damit zugleich die Lebhaftigkeit der Verbrennung befördert. In der Regel verengt sich der Durchmesser dieses Zugglases *b* in einer kleinen Entfernung über dem Brenner um einige Linien, Fig. 256, um damit die Richtung der vertical aufwärts steigenden Luft, welche die Flamme von aussen umgiebt, abzulenken und in den ebenfalls vertical aufsteigenden Gasstrom behufs einer vollständigeren Verbrennung hineinzubiegen.

Fig. 255.

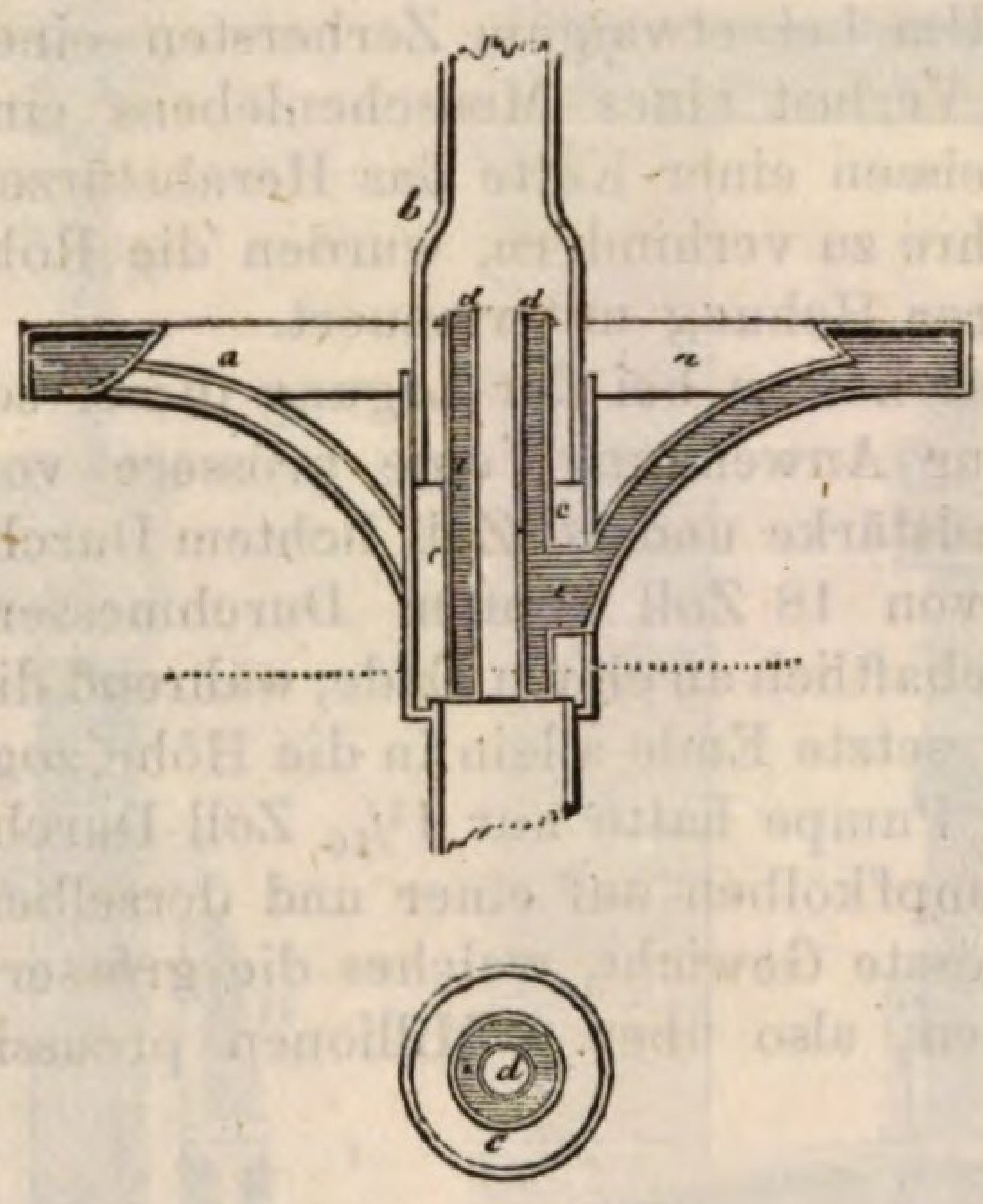


Fig. 256.

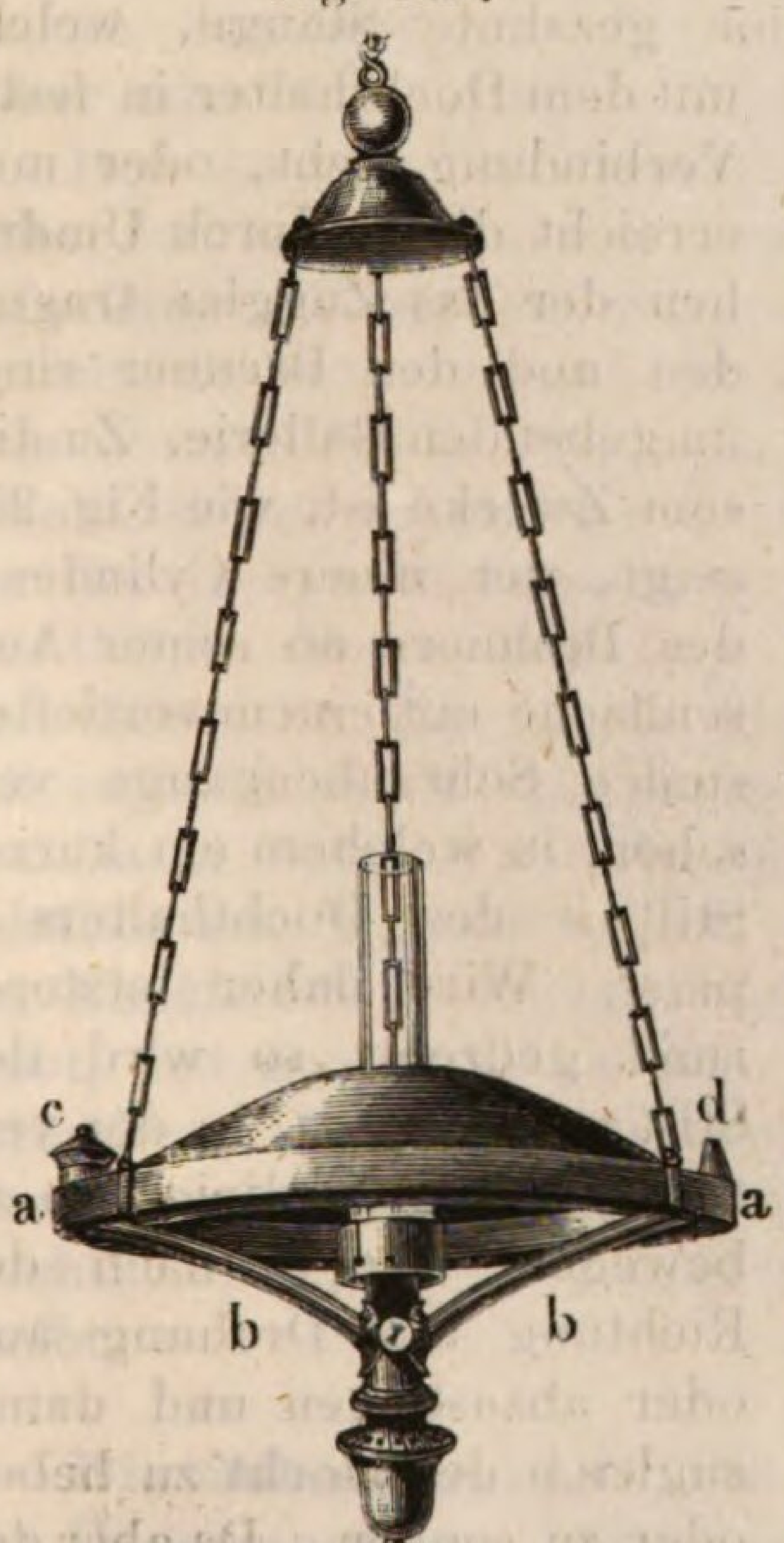


Die vorstehende Einrichtung findet sich an allen Lampen, welche ein intensives Licht geben sollen; die verschiedenen Systeme derselben unterscheiden sich daher untereinander nur

durch die Art und Weise, wie das Oel aus dem Oelbehälter an die höchste Stelle des Dochtes gebracht und während der Verbrennung in dieser Höhe dauernd erhalten wird. In dieser Beziehung sind bei der Construction der Lampen folgende drei Gesichtspunkte festzuhalten: 1. Das Oel muss fortdauernd die höchste Stelle des Dochtes im Brenner erreichen; 2. alles Oel, welches unverbrannt über den Rand des Dochtes abfliesst, muss in angemessener Weise aufgesammelt werden, damit es die anderen Theile der Lampe nicht beschmutze, und 3. das Licht der Flamme muss sich nach möglichst vielen Richtungen ungehindert in den Raum verbreiten können, und darf auf seinem Wege nicht durch undurchsichtige Theile der Lampe behindert werden und Schatten werfen. Wir wollen nun sehen, auf welche Weise diesen Anforderungen in den verschiedenen Lampen entsprochen wird.

Die Hängelampe, Fig. 257, auch wohl Sinumbralampe 174
(*sine umbra* = ohne Schatten) genannt, wirft den Schatten des Oelbehälters mehr gegen die Decke des Zimmers, als nach unten in den zu erleuchtenden Raum, und es bildet sich in derselben der Stand des Oels im Brenner ohne mechanische Beihülfe bloss nach dem Princip der communicirenden Gefässe. Das Oel ist, ähnlich wie bei der Argand'schen Lampe (Fig. 255), in einem kranzförmigen Behälter *a a* enthalten, aus welchem es durch zwei Zuleitungsröhren *b b* in das Innere des im Mittelpunkte des Kranzes *a a* stehenden Brenners eingeführt wird. Die Oeffnung *c* dient zum Eingiessen des Oels in den Behälter *a a*, und ist gewöhnlich durch einen Stopfen verschlossen; dagegen befindet sich bei *d* eine kleine Erhöhung, welche oben eine feine Oeffnung hat, um der atmosphärischen Luft den Zu-

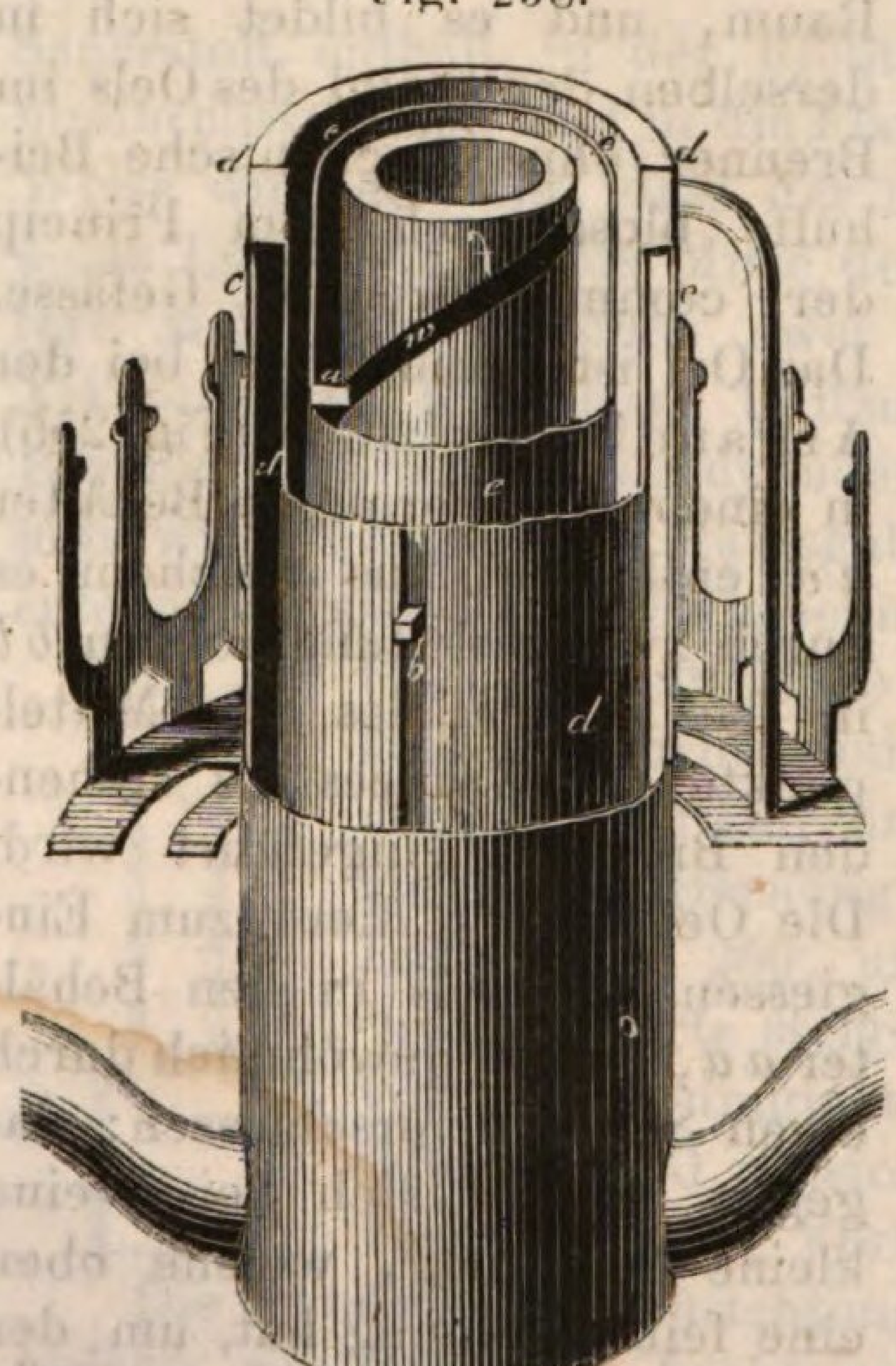
Fig. 257.



gang zu dem Oelbehälter zu gestatten. Hiernach steht das Oel in dem Brenner stets ebenso hoch, wie im Oelbehälter *aa*, und beide Niveaus müssen in dem Maasse, wie das Oel verbrennt, immer tiefer sinken. Um nun diese Abnahme in der Höhe des Oels am Brenner möglichst wenig fühlbar zu machen, giebt man dem Oelbehälter eine ziemlich breite, aber zugleich flache Form, so dass eine grössere Quantität Oel darin doch nur eine sehr unbedeutende Höhe einnimmt, und eine ziemlich bedeutende Menge Oel im Brenner verbrennen kann, ohne dass das Niveau desselben merklich sinkt. Gleich nach geschehener Füllung steht das Oel im Brenner natürlich bis am obersten Rande des Dochtes; durch die Verbrennung des Oels sinkt das Niveau desselben zwar sehr langsam, aber doch unaufhaltsam immer tiefer unter den obersten Rand des Dochtes, der Contact mit dem Metalle des Brenners verhindert aber die Flamme, dem sinkenden Oel nachzusteigen, und so kommt es nach Verlauf einiger Zeit, dass die Helligkeit der Flamme abnimmt und der Docht immer mehr verkohlt.

Um den Docht auf- und abzubewegen wirkt man entweder vermittelst eines Triebes auf eine gezahnte Stange, welche mit dem Dochthalter in fester Verbindung steht, oder man erreicht dieses durch Umdrehen der das Zugglas tragenden und den Brenner rings umgebenden Gallerie. Zu diesem Zwecke ist, wie Fig. 258 zeigt, der innere Cylinder *f* des Brenners an seiner Aussenfläche mit einem vertieften steilen Schraubengange versehen, in welchem ein kurzer Stift *a* des Dochthalters *e* passt. Wird daher letzterer rund gedreht, so wird der Stift *a* genöthigt, in der vertieften Schraubenlinie sich zu bewegen, also je nach der Richtung der Drehung auf- oder abzusteigen und damit zugleich den Docht zu heben oder zu senken. Da aber der

Fig. 258.



Dochthalter *e* im Innern des Brenners steckt, so ist er für die Finger unzugänglich und seine Drehung wird daher durch einen bis zum oberen Theile des Dochtes hinaufreichenden Blechcylinder *dd* vermittelt. Letzterer ist seiner ganzen Länge nach mit einer Spalte versehen, in welche an irgend einer Stelle ein zweiter an der Aussenseite des Dochthalters *e* angebrachter Stift *b* eingreift. Man kann daher den Blechcylinder *dd* wohl auf- und abbewegen, nicht aber ihn drehen, ohne den Dochthalter *e* mitzunehmen; geschieht letzteres, so muss sich der Docht je nach der Richtung der Drehung höher oder tiefer stellen. Zur bequemeren Drehung des Blechcylinders *dd*, der sich durch die Einwirkung der Flamme erhitzt, wird er mit der das Zugglas tragenden Gallerie in festen Zusammenhang gebracht, indem er oben in einen 2 bis 3 Linien breiten ganz geschlossenen Ring endigt, der sich auf den Rand des Cylinders *c* auflegt und dadurch mit diesem in Verbindung tritt. Dreht man daher die Gallerie, so dreht sich der innere Blechcylinder *dd* mit, und indem dieser vermittelst des Stiftes *b* auf den Dochthalter *ee* wirkt, steigt dessen Stift *a* in dem Schraubengange auf oder ab, so dass dadurch der Docht selbst je nach der Drehung höher oder tiefer gestellt wird.

Der untere Theil des Brenners ist mit einem kleinen Behälter versehen, um das über den Docht überfliessende Oel aufzufangen; damit die atmosphärische Luft immer noch freien Zutritt zu dem inneren Theile des Brenners behalte, sind in dem oberen Theile dieses kleinen Behälters Oeffnungen angebracht, durch welche die Luft frei eintreten kann. Wenn daher der untere Oelansammler sich so weit angefüllt hat, dass das Oel in diesen Oeffnungen steht, so ist der äusseren Luft der Zutritt in das Innere der Flamme abgeschnitten und damit zugleich die Verbrennung des Oels wesentlich gestört.

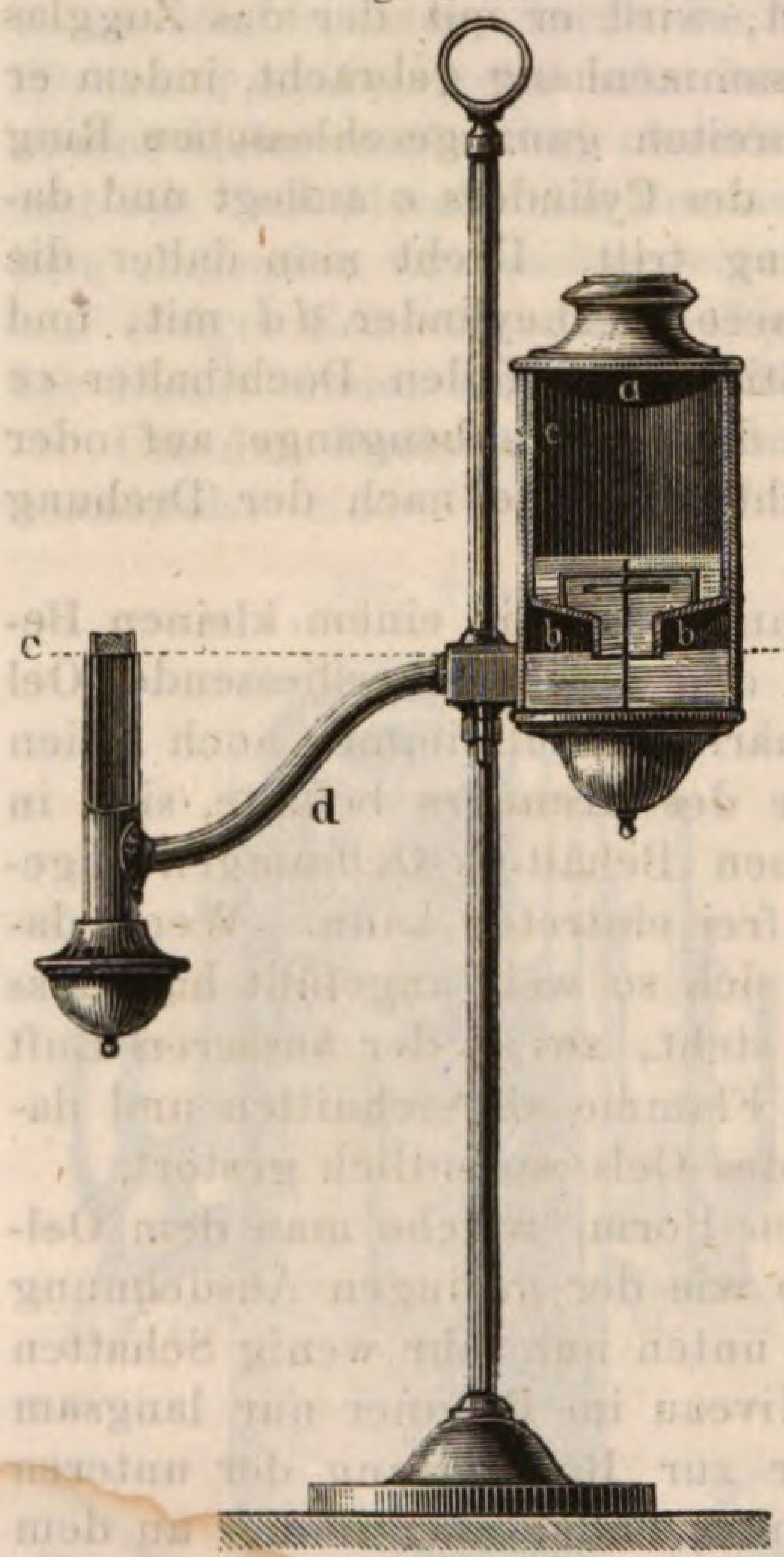
Da in Folge der besonderen Form, welche man dem Oelbehälter *aa*, Fig. 257, giebt, so wie der geringen Ausdehnung der Kanäle *bb* die Lampe nach unten nur sehr wenig Schatten giebt, und auch das Oel sein Niveau im Brenner nur langsam verändert, so ist dieselbe zwar zur Beleuchtung der unteren Theile von Räumen ganz geeignet, leidet aber immer an dem Nachtheil, dass die Intensität ihres Lichtes nicht constant bleibt.

Die Schiebelampe. Um den zuletzt genannten Nachtheil 175
der Hängelampe zu beseitigen, hat man mehrere Constructio-

nen versucht, die alle den Zweck haben, das Niveau des Oels im Brenner stets auf derselben Höhe zu erhalten. Zugleich hat man Bedacht darauf genommen, den Oelbehälter entweder nach einer Seite über die Flamme zu verlegen und also den Schatten desselben ganz nach oben zu werfen, oder diesen Behälter tief unter die Flamme zu versetzen, um den Schatten unter den Fuss der Lampe zu bringen.

Einem Falle der ersteren Art begegnen wir bei der sehr verbreiteten Schiebelampe, wie sie Fig. 259 im Durchschnitt zeigt. Der Oelbehälter *a* ist eine bewegliche Blechflasche, welche in ein anderes oben offenes Blechgefäss *b b* eingesenkt werden kann. Hält man die Flasche *a* aufrecht, so fällt ein zum Verschlusse der Mündung dienendes Ventil zurück und lässt die Mündung behufs Einfüllung des Oels frei. Nach geschehener Füllung zieht man den aus der Flasche hervorstehenden Ventilstiel an und schliesst die Mündung der Flasche; man kann nun dieselbe umkehren, ohne dass das Oel herausfliesst, und sie in dem oben offenen Mantel *b b* einsenken. Bevor sie noch ihre tiefste Lage in dem Mantel *bb* eingenommen hat, trifft der Stiel des Ventils auf den Boden des Mantels und hebt das darauf befestigte Ventil in die Höhe; die Mündung der Flasche ist dadurch geöffnet und es fliesst so lange Oel aus derselben in den Mantel *bb*, bis das Niveau desselben die Oeffnung der Flasche versperrt. Da das Innere des Mantels durch das Rohr *d* mit dem Innern des Brenners in Verbindung steht und die Mündung *e′* der Flasche mit der des Brenners *e* gleich hoch gerichtet ist, so wird mit

Fig. 259.



dem Einsetzen der Flasche *a* in ihren Mantel zugleich auch der Brenner auf die erforderliche Höhe gefüllt. Bei *c* hat der Mantel eine kleine Oeffnung, damit die äussere atmosphärische Luft ihren Druck auf die Oberfläche des Oels im Mantel *bb* frei ausüben könne. Hiernach besitzt die Lampe zwei Oelbehälter, einen unteren im Mantel, der durch das Rohr *d* den Brenner speist, und einen oberen, die umgestürzte Flasche, welche ganz in der Weise, wie es bereits in §. 49 gezeigt wurde, die Aufgabe hat, das Niveau *ee'* des Oels im Mantel und im Brenner constant zu erhalten. Da die Luft zu dem Innern der Flasche *a* keinen Zugang hat, so lange das Oelniveau *ee'* über der Mündung der Flasche steht, so kann kein Oel aus der Flasche ausfliessen, es wird vielmehr durch den Druck der auf das Niveau *bb* wirkenden Luft in der Schwebe gehalten. Sinkt aber durch das Verbrennen des Oels nach einiger Zeit das Niveau *e* im Brenner, und demgemäss auch das Niveau *e'* im Mantel so tief, dass die Mündung der Flasche frei wird, so treten einige Luftblasen in die Flasche ein, welche eine entsprechende Quantität Oel daraus verdrängen und dadurch das Niveau *e'e* schnell wieder so hoch heben, dass es die Mündung der Flasche von Neuem verschliesst. Nach kurzer Zeit wiederholt sich dasselbe Spiel und es setzt sich überhaupt so lange fort, bis alles Oel aus der Flasche verdrängt worden ist.

Die übrigen Theile der Schiebelampe, welche sich, wie ihr Name andeutet, in einem das Leitrohr *d* umgebenden Ringe in einem messingenen Stiele auf- und abschieben lässt, sind aus der Zeichnung leicht zu erkennen. Die Lampe entspricht der Anforderung bezüglich der Erhaltung des Oelniveaus im Brenner fast vollständig, insofern dieser Abstand zwar nicht ganz gleich bleibt, aber doch abwechselnd nur um ein Geringes sinkt, und gleich darauf wieder die anfängliche Höhe erreicht. Allein sie hat den Uebelstand, dass der Oelbehälter zur Seite des Brenners einen sehr bedeutenden Schatten hinter sich wirft, und dass das Oel bei einem geringen Ueberhängen der Lampe sogleich über den Docht überfliesst, den kleinen Behälter unter dem Brenner anfüllt und dann bald aus demselben überläuft oder, wenn die Lampe an einen anderen Ort gebracht wird, verschüttet wird.

Girard's hydrostatische Lampe. Die vortheilhafteste Einrichtung einer Lampe ist offenbar diejenige, bei welcher 176

sich der Brenner in einer beliebigen Höhe vertical über dem Oelbehälter anbringen lässt; in einem solchen Falle kann man nämlich sowohl oberhalb der Flamme und seitwärts von derselben alle Schatten vermeiden, als auch das über dem Brenner abfliessende Oel in dem Oelbehälter oder in einem anderen hinreichend grossen Gefässe wieder auffangen, ohne besorgen zu müssen, dass dasselbe einmal überlaufe. Die einzige Schwierigkeit besteht dabei, das Oel aus dem Oelbehälter an den Brenner zu bringen und es in der erforderlichen Höhe dauernd zu erhalten. Es giebt indessen mehrere Mittel, diesen Zweck ziemlich vollständig zu erreichen; die einfachsten und sichersten derselben wollen wir in dem Folgenden näher erörtern.

Der in §. 90 bereits beschriebene Heronsbrunnen erscheint auf den ersten Blick zu diesem Zweck ganz geeignet, denn er wird das Oel, womit er gefüllt ist, auf eine bestimmte Höhe oberhalb des Oelbehälters bringen können. Wenn man aber seine Einrichtung etwas genauer betrachtet, so wird man doch leicht bemerken, dass sie noch weit davon entfernt ist, den Anforderungen, die wir oben an eine gut eingerichtete Lampe gestellt haben, zu entsprechen. Denn nehmen wir an, dass die Lampe die Einrichtung eines solchen Apparates habe, und dass der Brenner in der höchsten Höhe des Strahles *d*, Fig. 260, angebracht sei, so wird die Oelsäule *a* auf die Luftsäule *b* wirken und hierdurch das Oel der oberen Kugel bis zum Dochte im Brenner in die Höhe drücken. In dem Maasse aber, als das Oel im Brenner verbrennt, verstellen sich die Niveaus des Oels in den drei Behältern; das Niveau im ersten trichterförmigen Gefässe und in dem dritten Gefässe der Kugel rechts sinkt, dagegen das Niveau in der mittleren Kugel steigt. Damit hierbei das Oel im Brenner stets auf derselben Höhe bleibe, müsste die Spannkraft der Luft *b* fortwährend vergrössert werden, weil der Niveauunterschied zwischen der Höhe des Brenners und dem Oel in der Kugel rechts durch den Verbrauch des Oels fortwährend zunimmt und daher die Luft *b* sich ausdehnt und an Spannung verliert. Nun aber kann die Span-

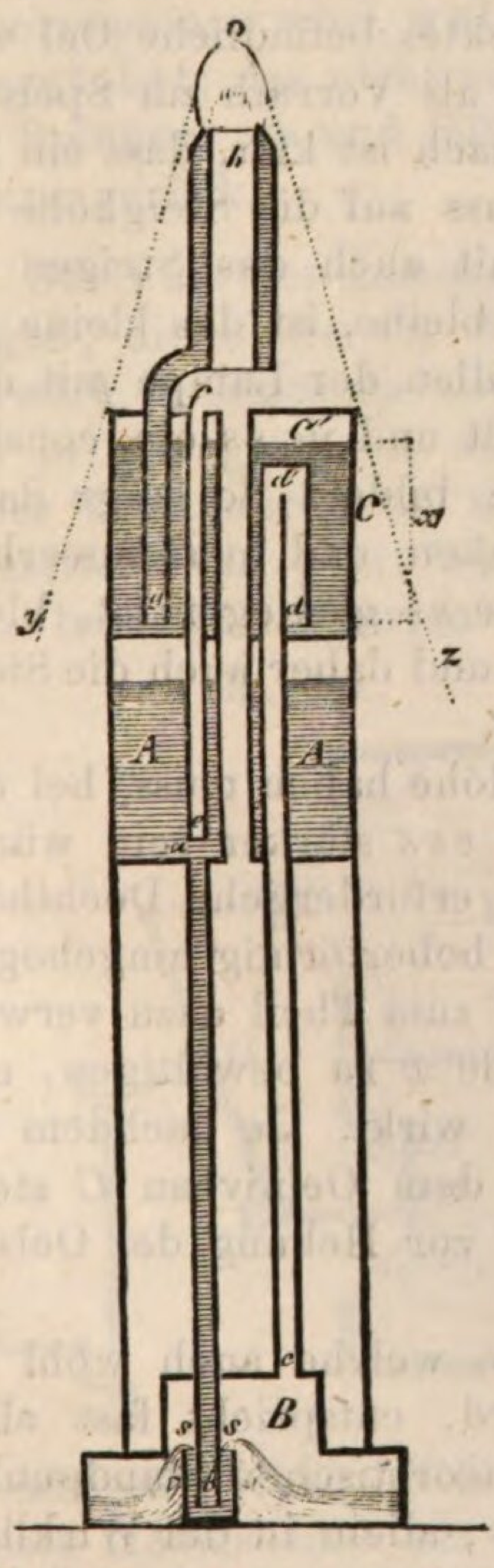
Fig. 260.



nung der Luft *b* nicht zunehmen, weil sie durch den Druck der Oelsäule *a* bedingt ist und die Höhe dieser Säule und daher auch ihr Druck auf die Luftsäule *b* fortwährend abnimmt. Man sieht hieraus, dass die Höhe, auf welche das Oel in einem solchen Heronsbrunnen getrieben würde, während des Brennens der Lampe fortwährend abnehmen und daher die Leuchtkraft der Flamme immer schwächer werden müsste.

Girard hat es indessen verstanden, bei der Construction seiner Lampe das Princip des Heronsbrunnens beizubehalten, aber zugleich bei den einzelnen Theilen desselben solche Abänderungen vorzunehmen, dass dadurch der Zweck, das Oel stets auf derselben Höhe im Brenner zu erhalten, vollständig erreicht wird. Die Fig. 261 zeigt die innere Einrichtung der Girard'schen Lampe, in welcher die einzelnen Theile der vorigen Figur wiederkehren, jedoch aus Rücksicht auf Raumersparniss zusammengedrängt sind. *A*, *B* und *C* sind drei vollständig geschlossene Gefässe, die mit der atmosphärischen Luft oder untereinander nur durch die Röhren *ab*, *fe*, *cd'd*, *gh* in Verbindung stehen. Vor dem Anzünden der Lampe werden die Behälter *A* und *C* auf irgend eine Weise mit Oel gefüllt, es fliesst dabei ein Theil sofort durch die Röhre *ab* ab und füllt das kleine im Behälter *B* stehende, unten geschlossene Gefässchen *v* ganz an. Die atmosphärische Luft, welche durch die Röhre *fe* auf das Oel des Behälters *A* wirkt, veranlasst ein weiteres Abfliessen des Oels durch das Rohr *ab* in den Behälter *B*; die Luft des letzteren wird zusammengepresst und entweicht durch das umgebogene Rohr *cd'd* in den Behälter *C*, übt hier einen Druck aus auf das darin befindliche Oel und presst dasselbe durch das Steigerohr *gh* in den Brenner bis zur Höhe des obersten Dochtrandes. Offenbar hängt die letztere Höhe, wie im Heronsbrunnen, nur von dem Drucke der Oel-

Fig. 261.



säule zwischen *A* und *B* ab; bleibt dieser Druck während des Brennens der Lampe constant, so steigt auch das Oel aus *C* in den Brenner stets auf dieselbe Höhe *gh*. Nun aber fällt während des Brennens das Niveau des Oels im Behälter *A* ununterbrochen, während es in *B* steigt, und es scheint daher, dass die Druckhöhe des Oels zwischen *A* und *B* und damit zugleich der Druck der Luft in dem Rohre *cdd'* und die Steighöhe *gh* des Oels im Brenner fortwährend abnehmen müsse. Dieses ist jedoch nicht der Fall, denn die atmosphärische Luft wirkt in *A* nicht auf das Niveau des Oels, sondern durch die Röhre *fe* auf das durch den Punkt *e* gehende Niveau. Demgemäss fällt der Höhenpunkt der drückenden Oelsäule zwischen *A* und *B* nicht in das veränderliche Niveau, sondern in die Mündung *e*, und alles oberhalb dieses Punktes befindliche Oel wird von der Luft getragen und dient bloss als Vorrath zur Speisung der bei *e* beginnenden Oelsäule. Hiernach ist klar, dass ein Sinken des Oelniveaus in *A* keinen Einfluss auf die Steighöhe des Oels im Brenner ausüben kann. Damit auch das Steigen des Oelniveaus in *B* hierauf ohne Einfluss bleibe, ist das kleine Gefäss *v* eingesetzt, welches sich beim Füllen der Lampe mit dem aus *A* abfliessenden Oel sogleich anfüllt und in *ss* ein constantes Niveau für die drückende Oelsäule bildet. So lange daher das Oel in *A* noch nicht unter *e* gesunken, und in *B* ausserhalb des kleinen Gefässes *v* noch nicht über *ss* gestiegen ist, bleibt die Druckhöhe der wirksamen Oelsäule und daher auch die Steighöhe des Oels im Brenner unverändert.

Da die Lampe eine angemessene Höhe haben muss, bei dieser Höhe aber der Druck der Oelsäule *ess* stärker sein würde, als er sein muss, um das Oel auf die erforderliche Dochthöhe zu bringen, so wird das Luftrohr *cd'd* heberförmig umgebogen, so dass die Druckkraft der Luft in *C* zum Theil dazu verwendet wird, die über *d* stehende Oelsäule *x* zu bewältigen, und nur ein Rest derselben hebend auf *gh* wirkt. Je nachdem die Mündung *d* höher oder tiefer unter dem Oelniveau *C* steht, wirkt die Druckkraft der Luftsäule *cd'* zur Hebung des Oels in *gh* stärker oder schwächer.

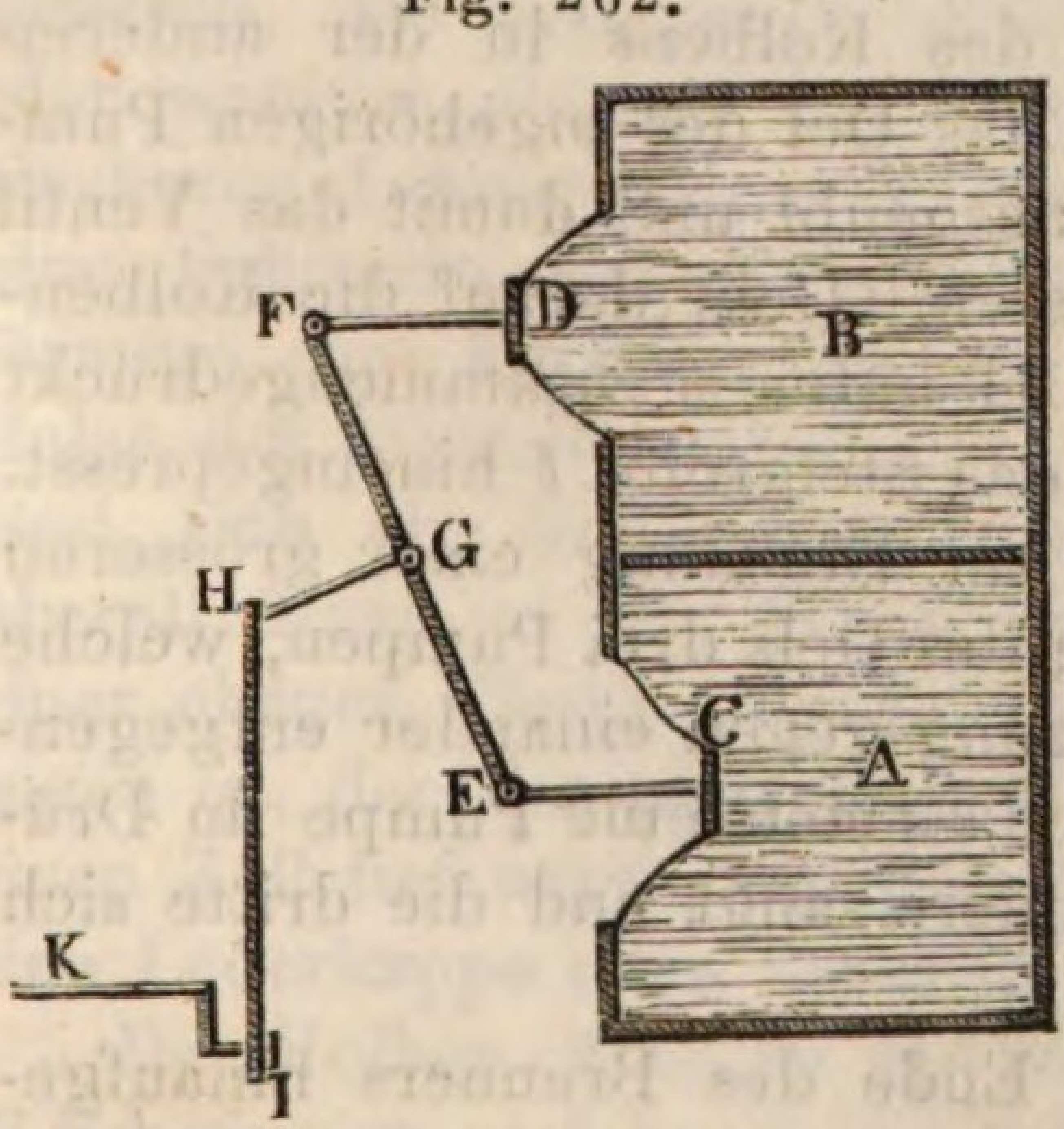
Die vorstehende Lampe Girard's, welche auch wohl die hydrostatische Lampe genannt wird, entspricht fast allen Anforderungen, welche man vom rein theoretischen Standpunkte an die Lampen überhaupt machen muss; allein in der Wirklichkeit lässt sie doch Vieles zu wünschen übrig, einmal, weil ihre Wirkung sowohl von der Grösse des Luftdruckes, als auch von

dem Temperaturwechsel abhängig ist, dann, weil ihr Schatten, der zwischen *oy* und *oz* fällt, den Fuss der Lampe weit überschreitet, und endlich, weil ihre Füllung und Reinhaltung ebenso schwierig als umständlich ist.

Die Carcel'sche Uhrlampe. Den Gegensatz zu den hy- 177
drostatischen Lampen bilden die Pumplampen; bei jenen wird das Oel durch hydrostatischen Druck, bei diesen durch besondere mechanische Vorrichtungen nach Art der Pumpen auf einige Zeit ununterbrochen in die Höhe getrieben. Zu den besten Lampen dieser Art gehört die Uhrlampe von Carcel, in welcher das Oel aus dem Fusse nach dem Dochte in einer Menge emporgepumpt wird, welche den Bedarf des Dochtes stets übersteigt; das nicht verbrauchte Oel fliesst an der Aussenseite des Brenners ab und fällt tropfenweise wieder in den Fuss der Lampe zurück.

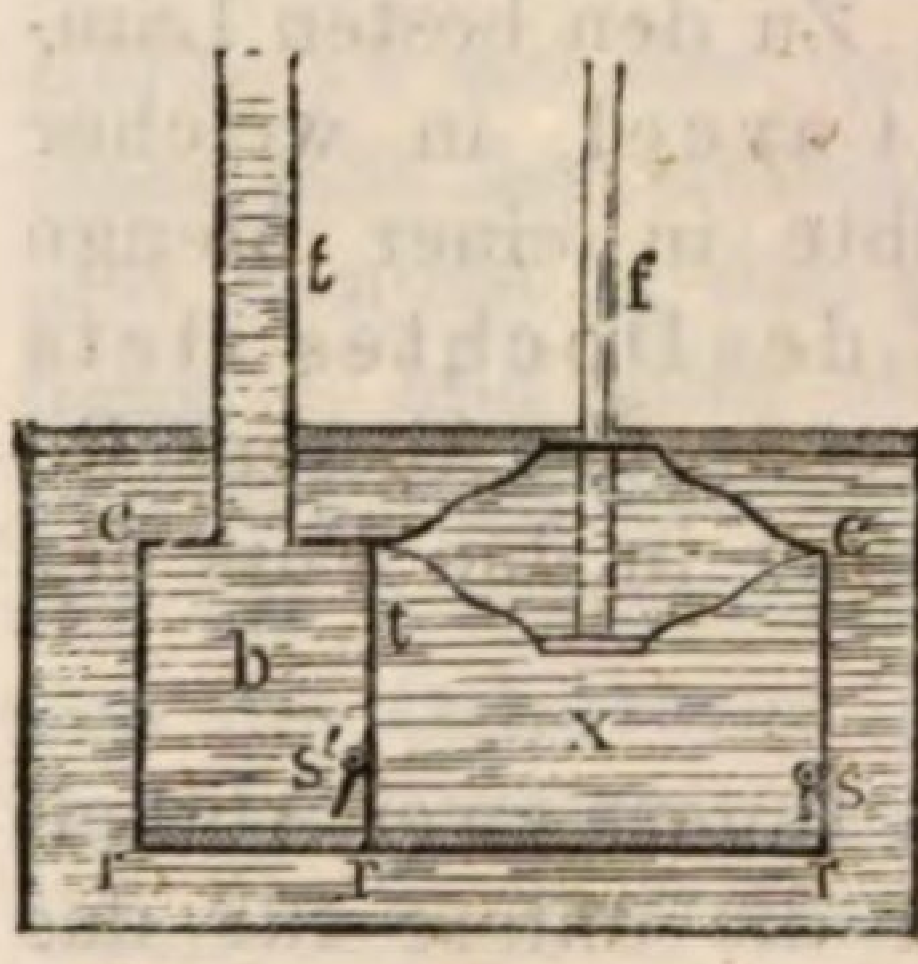
Der Fuss der Lampe enthält in seinem Innern zwei Abtheilungen, die obere für das Vorrathsöl und die untere für das Uhrwerk, welches die Aufgabe hat, zwei oder drei kleine Pumpen in Bewegung zu setzen. Das Uhrwerk ist ein gewöhnliches Räderwerk; es wird durch eine Feder getrieben und vermittelst ein paar Windflügel regulirt. Die Pumpen haben eine besondere Einrichtung; sie bestehen, wie Fig. 262 zeigt, aus einem geschlossenen Kasten *A*, *B*, in dessen einer Seitenwand sich ein beweglicher Theil von dichtem Zeuge oder von Leder vermittelst der an einer Metallplatte *C*, *D* befestigten Zugstange *EC*, *FD* hin und her bewegen lässt. Jede Abtheilung *A*, *B* bildet für sich eine besondere Pumpe und ist im Oelbehälter rings von Oel umgeben. Die Zugstangen *FD*, *EC* sind an die entgegengesetzten Enden eines gleicharmigen um seine Mitte *G* drehbaren Hebels *FGE* eingelenkt; auf der Drehachse *G* dieses Hebels sitzt ein anderer Hebelarm *HG*, der bei jeder Umdrehung der Kurbel *KI* vermittelst der dazwischen liegenden Gelenkstange, des Bläuels *IH*, einmal hin- und hergescho-

Fig. 262.



ben wird und dadurch den Hebel *FE* ebenfalls einmal hin- und herbewegt. Bei dieser Bewegung des Hebels aber gehen die Kolben *FD*, *EC* abwechselnd auf und ab und drücken entweder, wie bei *A*, die bewegliche Membran, auf welcher sie mit ihrem Fusse *D*, *C* befestigt sind, in den Pumpenkörper hinein, oder sie ziehen sie, wie in *B*, daraus wieder hervor. Jede Abtheilung *A*, *B* ist mit zwei Ventilen versehen, von denen das eine als Saugventil wirkt und mit dem umgebenden Oel in Verbindung steht, das andere aber ein Druckventil darstellt und zu einem Steigrohre führt. Aus der Fig. 263 sind diese Ventile für eine dieser Pumpen zu erkennen; *tsc* ist der Pumpenkörper, *x* die bewegliche Membran, *f* die Kolben- oder Zugstange, *s* das Saugventil, *s'* das Druckventil, *b* der Raum, in welchen das Oel aus allen Pumpen hineingepumpt wird, *t* das Steigrohr, welches durch den ganzen Schaft der Lampe bis zum Brenner hinaufreicht und das Oel in den Brenner führt.

Fig. 263.



Es ist nun leicht zu sehen, dass bei jedem Aufziehen der Membran *x* der Inhalt des Pumpenkörpers vergrössert wird und daher, wie bei jeder anderen Saugpumpe, durch die Einwirkung des Luftdruckes das Oel aus dem Oelbehälter durch das Einlassventil *s* in den Pumpenkörper gelangt. Durch das gleichzeitig stattfindende Niedergehen des Kolbens in der anderen Pumpe wird dann ein Druck auf das Oel des zugehörigen Pumpenkörpers und das Steigrohr *b* ausgeübt und damit das Ventil *s'* für die erstere Pumpe geschlossen. Geht darauf die Kolbenstange *f* abwärts, so wird das Oel unter *x* zusammengedrückt und durch das Druckventil *s'* in das Steigrohr *t* hineingepresst. Gewöhnlich enthält jede Lampe zur Erzielung einer grösseren Gleichförmigkeit in der Bewegung des Oels drei Pumpen, welche in jedem Augenblicke ihrer Bewegung gegen einander entgegengesetzte Stellungen annehmen, so dass stets eine Pumpe im Drücken begriffen ist, während die andere saugt und die dritte sich auf halbem Wege befindet.

Da das Oel etwas über das Ende des Brenners hinaufgepumpt wird, so muss der Docht etwas über den Brenner hinausgeschraubt werden; es wird hierdurch der grosse Vortheil erzielt, dass die Flamme weiter über den Blechrand des Brenners gerückt wird, hierdurch also weniger an Wärmeentziehung

leidet und das Oel vollständiger verbrennen kann, als es bei den anderen Lampen geschieht. Ausserdem aber erreicht man dadurch, dass weder der Docht noch der Rand des Brenners mit kohligen Absätzen verunreinigt und dem beständigen Nachströmen des Oels auf die erforderliche Höhe kein Hinderniss entgegengesetzt wird. Mit diesen Vorzügen der Carcellampe sind nur zwei Nachtheile verbunden; erstens macht das Uhr- und Pumpenwerk die Lampe kostspielig, so dass sie schon aus dieser Rücksicht nicht allgemeine Anwendung finden kann; zweitens aber erfordert die Behandlung des Uhrwerkes eine besondere Vorsicht, die nicht Jedem zugetraut werden kann, wozu noch kommt, dass unvermeidliche Störungen im Uhrwerke oder in den Pumpen Reparaturen nothwendig machen, die nicht von den gewöhnlichen Klempnern und Lampenfabrikanten ausgeführt werden können.

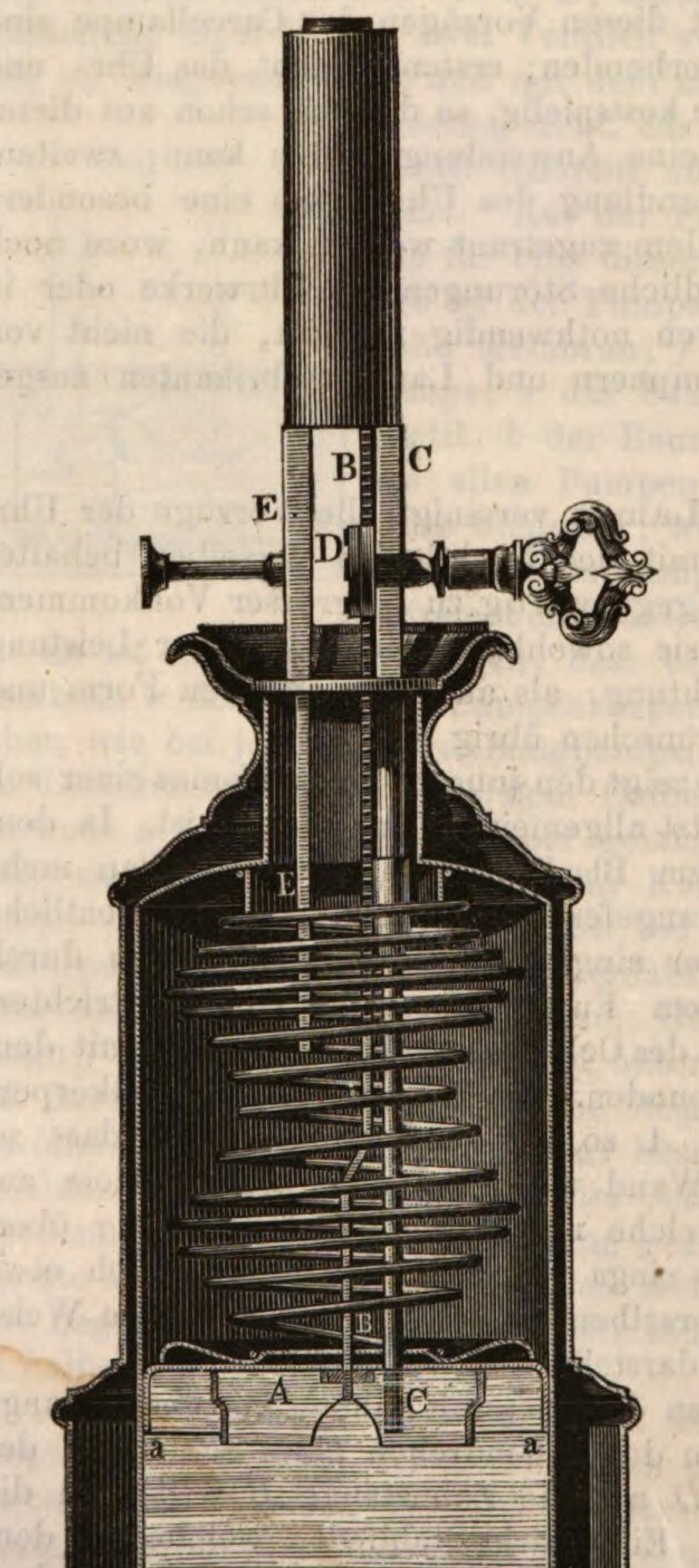
Die Moderateur-Lampe vereinigt alle Vorzüge der Uhr- 178
lampen in sich, ohne mit den Nachtheilen derselben behaftet zu sein; dieselben sind gegenwärtig zu so grosser Vollkommenheit ausgebildet, dass sie sowohl rücksichtlich ihrer Leistung und der inneren Einrichtung, als auch der äusseren Form und des Preises nichts zu wünschen übrig lassen.

Die Fig. 264 (a. f. S.) zeigt den inneren Mechanismus einer solchen Lampe, wie sie jetzt allgemein in Anwendung ist. In dem äusseren, aus bronzirtem Blech, Bronce oder Porzellan mehr oder weniger elegant angefertigten Mantel ist der eigentliche blecherne Lampenkörper eingesetzt; derselbe ist unten durch eine Schraube mit dem Fusse, oben durch eine trichterförmige, zum Einfüllen des Oels dienende Erweiterung mit dem Halse des Mantels verbunden. Im Innern des Lampenkörpers lässt sich ein Kolben A so auf- und abbewegen, dass er überall dicht an die Wand anschliesst; er besteht bloss aus einer ebenen Platte, welche mit starkem Leder derartig überzogen ist, dass letzteres rings um die Platte herum noch etwa einen Zoll tief unter derselben herabhängt und auf diese Weise eine Lederkappe aAa darstellt.

Der Kolben A ist an die oben mit Zähnen versehene Stange BB befestigt und kann durch Umdrehen eines Schlüssels, der mittelst eines Triebes D auf die Zahnstange B wirkt, in die Höhe gezogen werden. Eine starke Stahlfeder, welche mit dem unteren Ende auf dem oberen Theile des Kolbens A, mit dem oberen Ende aber an der Wand des Lampenkörpers befestigt

ist, umgiebt mit ihren Windungen die Zahnstange *BB*, und wird, wenn letztere mit Hülfe des genannten Schlüssels in die Höhe gezogen wird, mit ihren Windungen zusammengelegt. Lässt man darauf den Schlüssel wieder frei, so sucht die Feder sich wieder auszudehnen und den Kolben *A* wieder in seine ursprüngliche Lage zurückzutreiben.

Fig. 264.



Wenn die Lampe leer ist, steht der Kolben *A* auf dem Boden des Lampenkörpers, wobei die Feder abgespannt ist. Giesst man nun Oel in den trichterförmigen Hals der Lampe ein, bis dieselbe damit angefüllt ist, und zieht dann durch Umdrehen des Schlüssels den Kolben in die Höhe, so dringt das Oel zwischen der Gefässwand und der rings herabhängenden Lederkappe *a a* unter den Kolben. Durch das Hinaufgehen des Kolbens wird nämlich unterhalb desselben die Luft verdünnt, während oberhalb desselben die atmosphärische Luft mit voller Kraft auf das Oel wirkt; letztere gewinnt daher das Uebergewicht und presst das Oel zwischen die ein wenig einwärts sich biegende Lederkappe *a a* unter den Kolben.

Ist auf diese Weise die Feder ganz aufgewunden und alles Oel unter den Kolben gekommen, so lässt man den Schlüssel frei und gestattet der Feder, sich wieder auszudehnen und den Kolben abwärts zu drücken. Da hierdurch das Oel unter dem Kolben stark zusammengepresst wird, so drückt es in dem Bestreben zwischen der Lederkappe *aa* und der Gefässwand wieder zu entweichen, wie bei der Bramah'schen Liderung in der hydraulischen Presse, die Lederkappe *aa* auseinander und fest gegen die Gefässwand an, so dass dem Oele der Rückweg an dieser Stelle versperrt ist.

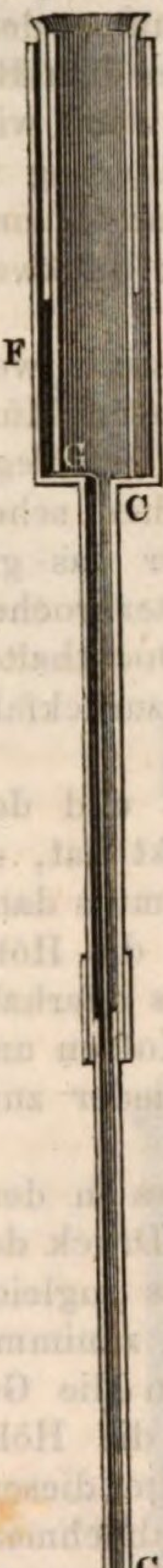
In dem Kolben aber ist ein enges Rohr *C* befestigt, welches die Bewegungen des Kolbens mitmacht und dessen Mündung in dem unterhalb des Kolbens befindlichen Oel liegt. Durch dieses Rohr, welches, wie wir sogleich näher sehen werden, sich bis zum Dochte fortsetzt, kann daher das gepresste Oel in die Höhe steigen und den Docht ununterbrochen speisen, während das unverbrannte Oel über den Dochthalter überfliesst, in den Füllraum der Lampe tropfenweise zurückfällt und sich oberhalb des Kolbens ansammelt.

Wenn die Feder sich wieder ganz ausgedehnt und den Kolben bis auf den Boden der Lampe herabgedrückt hat, so kann kein Oel mehr in die Höhe steigen; die Feder muss dann von Neuem wieder aufgedreht oder der Kolben in die Höhe gezogen werden, wodurch das während des Brennens oberhalb des Kolbens angesammelte Oel abermals unter den Kolben und bei frei werdender Feder durch das Steigrohr *C* wieder zum Dochte gelangt.

Es ist indessen hierbei nicht zu übersehen, dass in dem Maasse, wie der Kolben abwärts geht, einerseits der Druck der Feder gegen den Kolben abnimmt, und andererseits zugleich die Höhe, auf welche das Oel gehoben werden muss, zunimmt. Diese beiden Umstände vereinigen sich offenbar, um die Geschwindigkeit, mit welcher das Oel anfänglich in die Höhe steigt, sowie die Steighöhe selbst zu vermindern. Um diesem Uebelstande zu begegnen und, ungeachtet des stets abnehmenden Druckes der Feder, doch die aufsteigende Bewegung des Oels fast vollständig regelmässig zu machen, setzt man die Steigröhre *CC* aus zwei ungleich weiten Stücken zusammen, von denen das obere Stück fest stehen bleibt, das untere an dem Kolben befestigte Stück aber sich in dem oberen ein- und ausschieben lässt. Die Fig. 265 (a. f. S.) zeigt die so zusammengesetzte Steigröhre *CC* näher; die höhere feststehende Abthei-

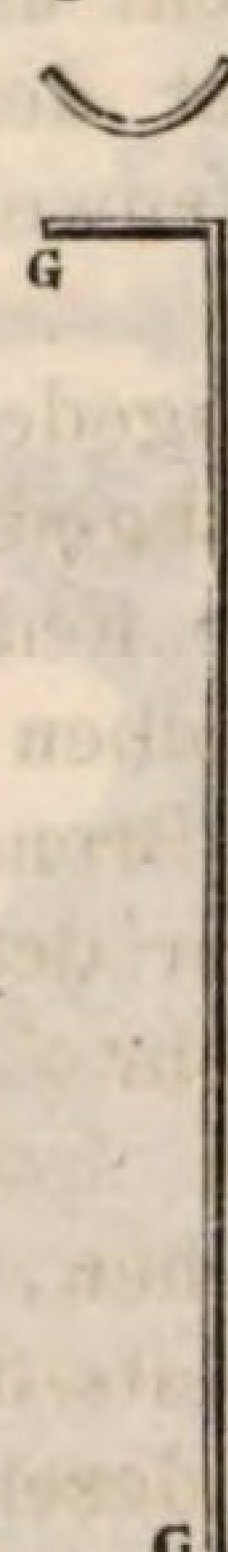
lung derselben mündet mit ihrem oberen Ende in den cylindrischen Zwischenraum, der von den beiden den Dochtraum bildenden Blechcylindern *F* und *G* eingeschlossen wird; innerhalb desselben lässt sich der Docht mittelst des Triebes *E* (Fig. 264) auf- und abschieben. Die untere bewegliche Abtheilung des Steigrohrs aber reicht auch in ihrer tiefsten Stellung durch eine kleine Stopfbüchse hindurch noch etwas in die obere Abtheilung hinein, und lässt sich überhaupt in der oberen so fest auf- und abschieben, dass kein Oel aus der Gesammtröhre seitwärts ausdringen kann.

Fig. 265.



In der Achse der oberen festen Röhre steht eine feine Nadel *G G*, welche in Fig. 266 besonders abgebildet ist; dieselbe ruht mit ihrem oben umgebogenen dickeren Ende auf dem Boden des Dochtraumes und läuft bis zu ihrem unteren Ende an der Stopfbüchse spitz zu; auf diese Weise bildet sie um sich herum einen Zwischenraum, dessen Querschnitt von unten nach oben allmälig abnimmt. Beim Aufziehen der Lampe schiebt nun der in die Höhe steigende Kolben das untere Rohrstück um die Nadel herum ganz in das obere Rohrstück hinein, so dass in dieser Lage zwischen der Nadel und der inneren Rohrwand nur ein sehr enger Zwischenraum übrig bleibt, in welchem das aufsteigende Oel nur mit grosser Reibung und daher nur sehr langsam sich bewegen kann, um bis über den Docht zu gelangen. In dieser Lage hat aber auch die ganz zusammengewundene Feder die meiste Kraft, sich wieder auszudehnen und die entgegenstehenden Hindernisse der Bewegung zu überwinden. Wenn umgekehrt die Feder sich bald abgewickelt und der Kolben beinahe seinen tiefsten Stand erreicht hat, so ist das untere Rohrstück auch fast ganz aus dem oberen herausgezogen und in die Lage der Fig. 265 angekommen. Das aufsteigende Oel findet jetzt durch den weiteren Zwischenraum viel weniger Widerstand als früher, und kann daher schneller und leichter über die Dochthöhe gelangen; allein in dieser Lage

Fig. 266.



übt auch die beinahe erschlaffte Feder fast gar keinen Druck mehr auf das Oel unter dem Kolben aus. In dem Maasse also, wie die Feder während des Brennens der Lampe in ihrer Spannkraft und ihrem Druck gegen das Oel nachlässt, erweitert sich für das zu hebende Oel der Zwischenraum in dem Steigrohre, und es nimmt damit zugleich der Widerstand, den das Oel bei seiner Bewegung zu überwinden hat, ab; wo die Federkraft und der Druck auf das Oel am grössten ist, da ist der Weg für das Oel am engsten und umgekehrt. Durch Versuche lassen sich nun die Dimensionen des Steigrohrs und der Nadel, so wie die Spannkraft der Feder leicht so abgleichen, dass während der ganzen Dauer, wo die Feder wirkt, das Aufsteigen des Oels durchaus regelmässig erfolgt und dieses während des Brennens der Lampe stets auf dieselbe Höhe gehoben wird.

Die ganze Einrichtung des Steigröhrchens nennt man den Moderateur, und von ihr haben die Lampen den Namen der Moderateurlampen erhalten.

Wenn man die vorstehenden Einrichtungen dahin abändert, dass man die Steigröhre etwas erweitert und zugleich verkürzt, den ganzen oberen Kopf mit Docht und Dochtraum fortlässt, und die Vorrichtung statt mit Oel mit Wasser speist, so erhält man einen transportabeln Springbrunnen, wie sie in den elegantesten Formen, häufig mit Blumentischen oder einem Aquarium verbunden, seit einigen Jahren im Handel vorkommen. Giebt man dem Fusse eines solchen Springbrunnens den Inhalt von etwa einem Kubikfuss, und ersetzt man die Federkraft durch ein versteckt anzubringendes Gewicht, durch dessen Sinken ein Druck auf den Kolben ausgeübt wird, so kann derselbe recht wohl zwei bis drei Stunden lang einen feinen Wasserstrahl von mehreren Fuss Höhe liefern.

6. Das Wasser als bewegende Kraft.

Das Gefälle des Wassers — Wehre. Die Bewegung 179
des Wassers in den Bächen und Flüssen, so wie im fliessenden Wasser überhaupt, rührt her von der Einwirkung der Schwere. Indem ein jedes Flüssigkeitstheilchen eine gewisse Wegstrecke durchläuft, sinkt es um eine gewisse Strecke in verticaler Richtung hinab und leistet dadurch eine bestimmte Bewegungsarbeit,

deren Grösse man erhält, wenn man das Gewicht des Flüssigkeitstheilchens mit der verticalen Strecke multiplicirt, um die es sich während seiner Bewegung gesenkt hat (I. §. 96). Es handelt sich nun darum, diese durch die Einwirkung der Schwerkraft auf die sämmtlichen Flüssigkeitstheilchen erzeugte Arbeit zu den verschiedensten Zwecken nutzbar zu machen, anstatt sie durch Ueberwindung der aus der Reibung des Wassers in sich selbst und an den festen Wänden erzeugten Widerstandsarbeit nutzlos verloren gehen zu lassen.

Da bei der mässigen Geschwindigkeit der fliessenden Gewässer von 1 bis 6 Fuss die lebendige Kraft derselben meist nicht ausreicht, um sie zum Umtriebe von Maschinen benutzen zu können, so ist es erforderlich, das Wasser aufzustauen und ein erhöhtes künstliches Gefälle zu erzeugen. Zu diesem Zwecke legt man einen quer über den Bach oder den Fluss weggehenden Damm an, den man ein Wehr nennt. Man unterscheidet zwei Arten von Wehren, die Ueberfallwehre oder Ueberfälle, bei denen das Wasser über die höchste Schwelle des Wehres frei abfliesst, und die Durchlass- oder Schleusenwehre, bei denen das Wasser durch besondere eingestellte Schutzbretter (Schützen) aufgestaut wird und unterhalb der Schützen abfliesst. Die Ueberfälle sind in praktischer Beziehung die wichtigsten Wehre; sie bilden entweder einen geraden, senkrecht gegen die Stromesrichtung sich erstreckenden Damm, oder sie bestehen aus zwei gegen den Strom gerichteten und in der Mitte desselben unter einem Winkel zusammenstossenden Dämmen, oder sie bilden einen Kreisbogen, dessen convexe Seite gegen den Strom gerichtet ist.

Das Querprofil eines hölzernen Ueberfalls hat meist die Form eines Fünfecks $ABCDE$, Fig. 267, bei welchem AB die Brust, BC die Vordecke, CD die Abschussdecke, DE der Rücken, EA die Sohle, C die Schwelle, der Sattel oder der Wehrbaum genannt wird. Ein solches vollkommenes

Fig. 267.

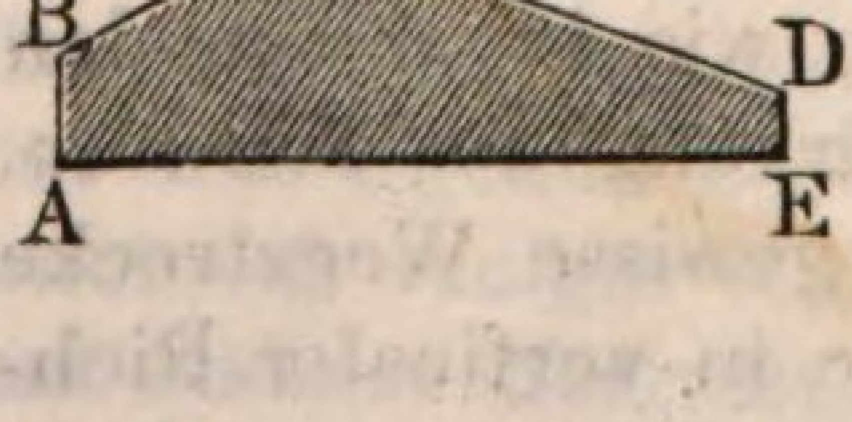
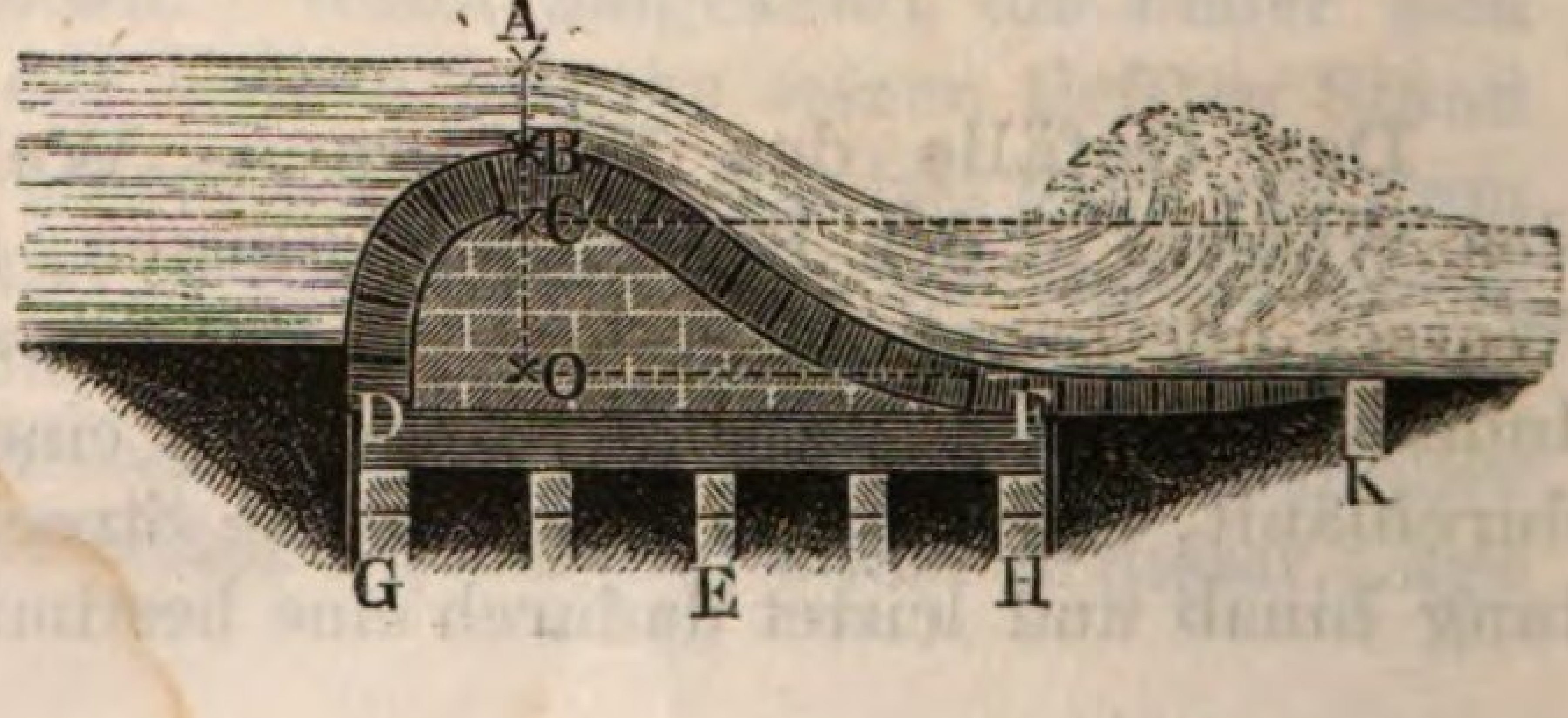


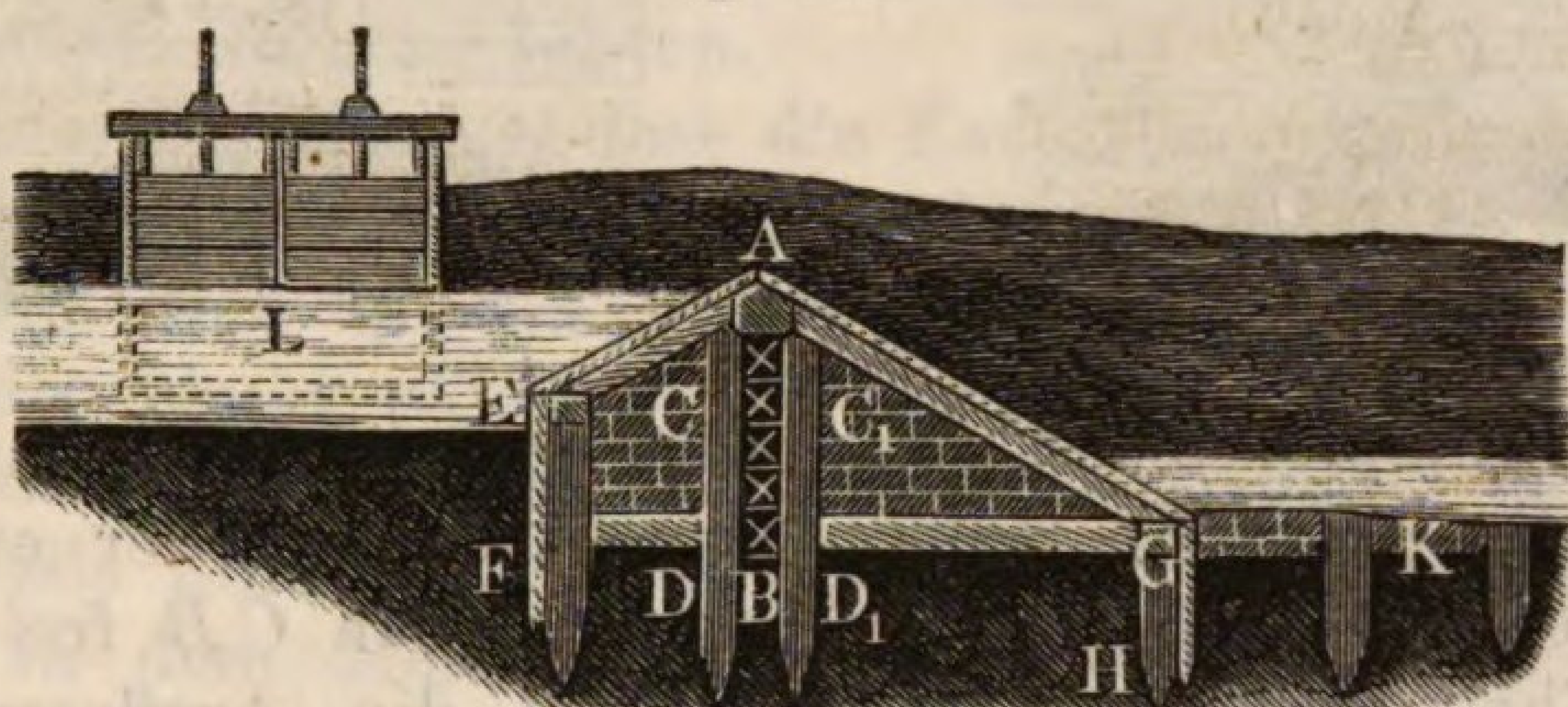
Fig. 268.



Ueberfallwehr aus Stein gemauert, zeigt die Fig. 268; dasselbe ruht auf einem Pfahlroste *DEF* mit zwei Spundwänden *G* und *H*, und ist nach Art eines Gewölbes mit Wassermörtel aufgemauert. Zum Schutze gegen das Ausspülen ist das Schussbett *FK* mit grossen Steinen gepflastert, die nach unten zu durch eine Pfahlreihe *K* zusammengehalten werden.

Die Construction eines hölzernen Ueberfallwehres ist aus der Fig. 269 ersichtlich. *AB* ist eine aus übereinander liegen-

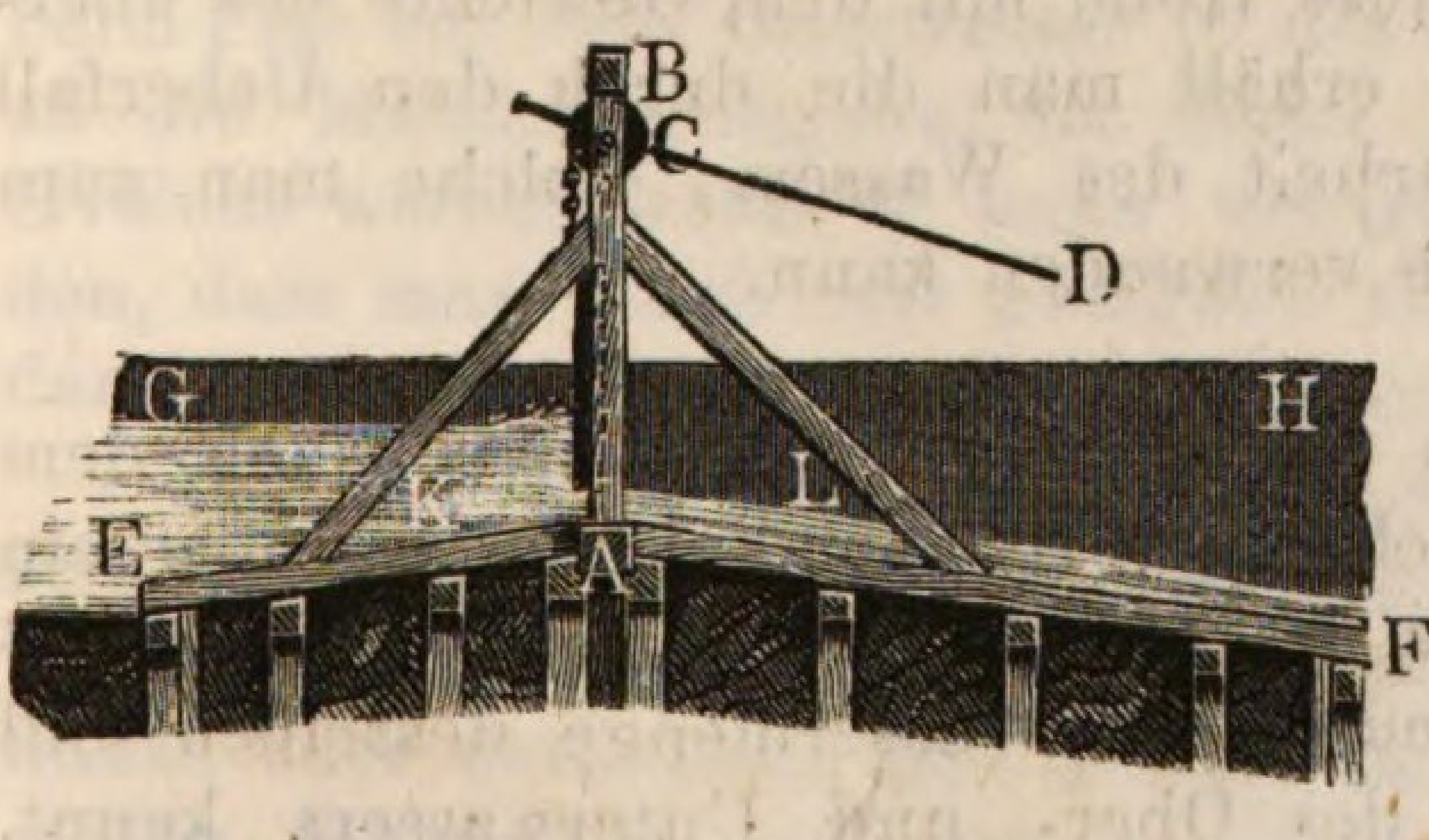
Fig. 269.



den Balken bestehende Wand, die durch die Pfahlreihen *CD*, $C_1 D_1$ zusammengehalten wird; *EF* und *GH* sind zwei andere, aussen mit Spundwänden bekleidete Pfahlreihen, deren einzelne Pfähle durch die Querbalken *E* und *G* verbunden sind; *A* ist der Wehrbaum, der durch die seitlichen Streben *CE* und $C_1 G$ mit den Schwellen *E* und *G* verbunden ist. Die Streben *CE* und $C_1 G$ sind mit Bohlen überdeckt, um die Vor- und die Abschussdecke zu bilden, während die inneren Räume ausgemauert sind; das Schussbett *K* ist hier ebenfalls mit grossen Steinen gepflastert. Bei *L* sieht man die Schützen, welche zur Regulirung des Aufschlagewassers für das Wehr dienen.

Bei den Durchlasswehren wird, wie Fig. 270 zeigt, auf irgend eine Weise, z. B. mittelst eines Kreuzhaspels *CD*, ein an Ketten hängendes Schutzbrett zwischen zwei Säulen *AB* höher oder tiefer gestellt, und damit das Wasser von den Schützen mehr oder weniger aufgestaut und zwischen diesen und dem Fachbaume *A* durchgelassen. Die Vor- und Ab-

Fig. 270.

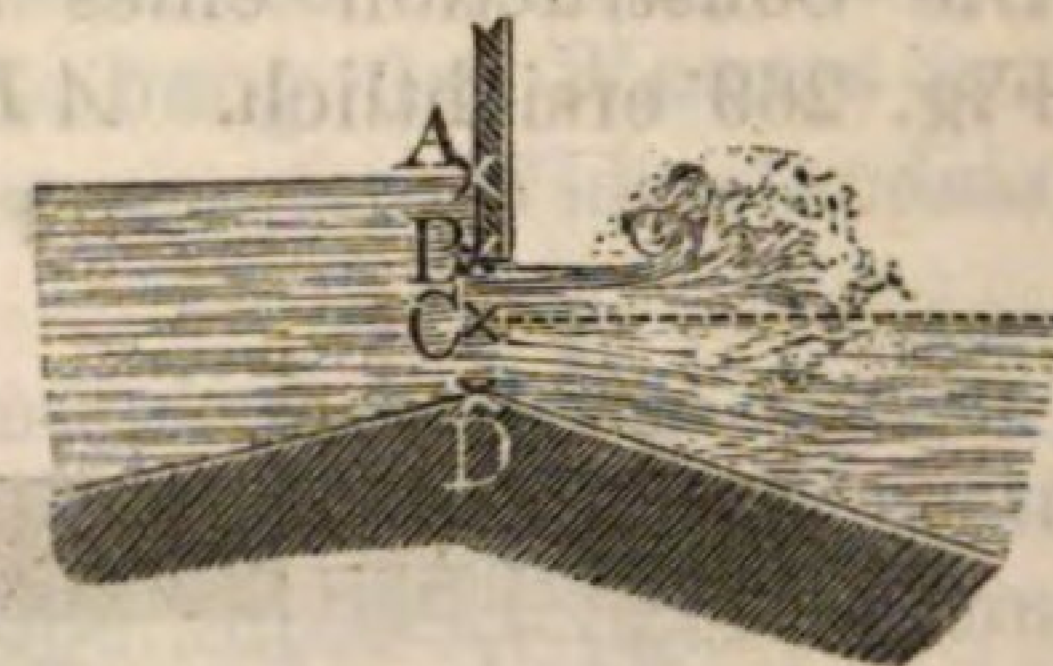


schussdecken *AE* und *AF* ruhen auf einer Reihe von Grundpfählen, während das ganze Wehr von zwei aus starken Bohlen gezimmerten Seitenwänden *GH* eingeschlossen ist. Bei dem Durchlassen fliesst das Wasser entweder, wie in Fig. 270, ganz frei aus, oder es fliesst, wie in Fig. 271, unter Wasser aus,

Fig. 271.



Fig. 272.



wenn sich nämlich das Unterwasser gegen die Schützen *A C* bis zu einer gewissen Höhe *B* zurückstaut, oder endlich es fliesst, wie in Fig. 272, ein Theil desselben *CB* frei und ein anderer Theil *B D* unter Wasser aus; die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers fällt bei diesen drei Arten von Wehren verschieden aus.

Die Wirkung eines Wehres besteht darin, dass der regelmässige Abfluss des Wassers gehemmt und dadurch letzteres vor dem Wehre aufgestaut wird. Nehmen wir an, dass das Wasser über einen horizontalen Wehrbaum überfliesst, so erfolgt die Bewegung des Wassers offenbar derart, dass die in einer bestimmten Zeit über das Wehr fliessende Wassermenge genau dieselbe ist, welche in derselben Zeit durch irgend einen Querschnitt des Wasserlaufes hindurchfliessen würde, wenn kein Wehr vorhanden wäre.

Indem diese Wassermenge von dem Oberwasser in das Unterwasser übergeht, fällt sie von einer Höhe herab, die gleich ist der Differenz der Niveaus oberhalb und unterhalb des Wehres. Multiplicirt man diese Höhe mit dem Gewichte des übergelaufenen Wassers, so erhält man die durch den Ueberfall entwickelte Bewegungsarbeit des Wassers, welche man zum Umtriebe einer Maschine verwenden kann.

180 **Die Arbeitsgrösse eines Wassergefälles.** Nach dem Vorigen ist es nun leicht, die Arbeitsgrösse eines über ein Wehr laufenden Wassers in Pferdekräften (I. §. 231) zu berechnen, wenn man die secundliche Wassermenge desselben und den Höhenunterschied des Ober- und Unterwassers kennt.

Nehmen wir z. B. an, dass ein Fluss eine Wassermenge von 4000 Kubikfuss in der Secunde liefert, und ein darin angebrachtes Ueberfallwehr einen Niveauunterschied des Ober- und Unterwassers von $5\frac{1}{2}$ Fuss herstellt, so ist das Gewicht des überfallenden Wassers $4000 \times 61\frac{3}{4} = 247000$ Pfund (§. 15), mithin die von diesem Wasser in der Secunde geleistete Arbeit $247000 \times 5\frac{1}{2} = 1358500$ Fusspfund. Dividirt man diese Zahl durch 480, so erhält man diese Arbeit in Pferdekräften; es ist daher das über das Wehr fallende Wasser im Stande, eine Arbeit von 2830 Pferdekräften zu leisten.

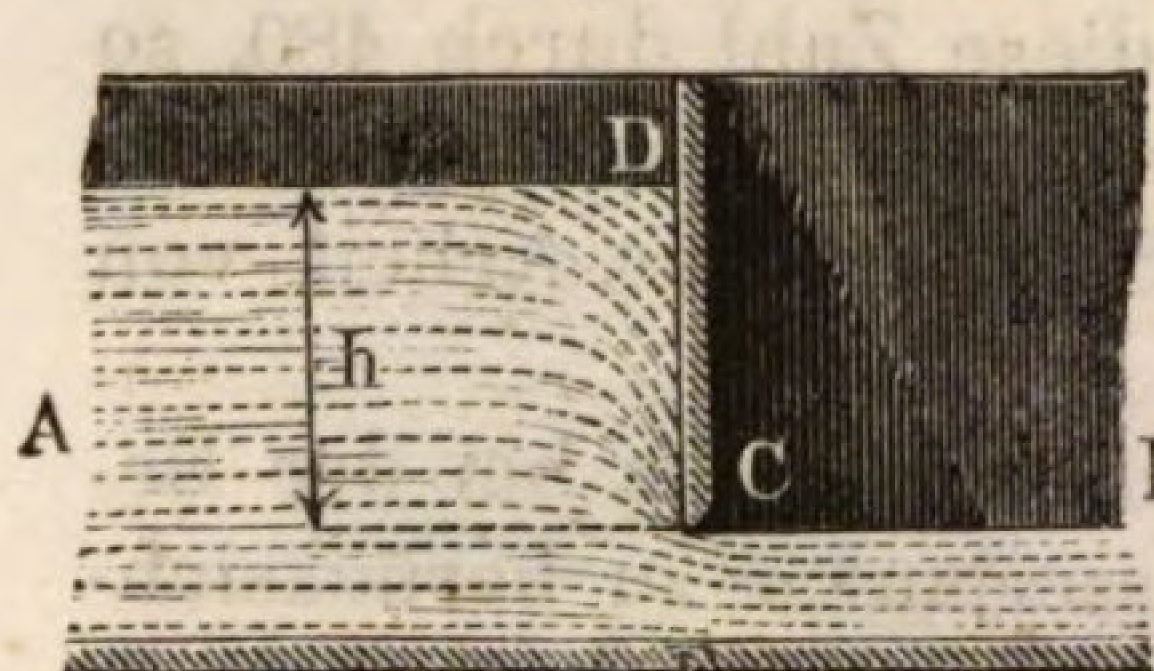
Man sieht hieraus, dass die Factoren, welche bei der Berechnung der Arbeitsgrösse eines Wasserlaufes zu berücksichtigen sind, sich in den verschiedenen Jahreszeiten ändern. Einestheils bleibt nämlich die secundliche Wassermenge zu den verschiedenen Zeiten des Jahres nicht immer dieselbe, und anderntheils nimmt die Niveaudifferenz des Ober- und Unterwassers in dem Maasse ab, als die Wassermenge zunimmt. Obgleich nun diese beiden Factoren sich jedesmal im entgegengesetzten Sinne ändern, so ergiebt sich daraus doch stets eine solche Aenderung in der Arbeitsgrösse des Ueberfalls, dass diese um so grösser wird, je grösser die secundliche Wassermenge desselben ist.

Allgemeine Bedingungen für die hydraulischen Motoren. Das fliessende Wasser kann ohne irgend eine Zwischen- 181
maschine nur in sehr wenigen Fällen eine nutzbare Arbeit abgeben. In der Regel wirkt das Wasser zunächst auf eine Maschine, die nur den Zweck hat, die Arbeit des Wassers in sich aufzunehmen und in geeigneter Weise auf andere Arbeitsmaschinen zu übertragen. Bei der Construction jener ersten Bewegungsmaschine muss man natürlich darauf Bedacht nehmen, dass das Wasser seine gesammte Arbeitsgrösse, die es beim Fall aus dem Oberwasser in das Unterwasser leisten kann, an die Maschine abgebe; da dieses jedoch nicht vollständig erreicht werden kann, so muss wenigstens dafür gesorgt werden, dass man durch eine geeignete Construction der Maschine der idealen Anforderung so nahe komme als möglich.

Was wir in dem Bisherigen von dem Ueberfalle des Wassers über ein Wehr gesagt haben, gilt auch von den Durchlasswehren, sei es, dass das Wasser unter dem Schutzbrett wegfliesst, oder dass man, wie in Fig. 94, eine Oeffnung in demselben angebracht hat, aus welchem das Wasser ausströmt.

In allen diesen Fällen ist die Arbeit des Wassers, welches es bei dem Uebergange aus dem Oberwasser in das Unterwasser leistet, eben so gross, als wenn es von dem einen Niveau bis zum anderen frei herabfiele. Um dieses ganz klar einzusehen, nehmen wir einmal an, dass das Wasser, wie in Fig. 273, aus einer in der Höhe CB des Unterwassers in dem Schutzbrett DC angebrachten Oeffnung CE ausfliesse. Die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers durch diese Oeffnung CE ist dann genau dieselbe, als diejenige, welche es erhalten würde, wenn es die ganze Höhe h des Gefälles in verticaler Richtung frei durchliefe (§. 78). Wenn man daher das Wasser mit derjenigen Geschwindigkeit auf eine Maschine will wirken lassen, welche es nach Maassgabe seines Gefälles durch die Einwirkung der Schwerkraft erhalten hat, so ist es gleichgültig, ob man es auf die eine oder andere Weise vom Oberwasser in das Unterwasser gelangen lässt, weil die Geschwindigkeiten, die es erlangt, in beiden Fällen dieselben sind.

Fig 273.



Man könnte allerdings hiergegen einwenden, dass in dem Falle, wo man das Wasser durch eine Oeffnung in dem Schutzbrett von oben nach unten abführt, sich dieser Oeffnung solche Dimensionen geben liessen, dass die in einer bestimmten Zeit hindurchfliessende Wassermenge weit grösser wird, als diejenige ist, die man in derselben Zeit erhält, wenn man das Wasser über ein Wehr wollte überlaufen lassen, und dass, da die Geschwindigkeit des Wassers stets diejenige ist, welche der Höhe des Gefälles entspricht, die gesammte in dieser Zeit geleistete Arbeit des Wassers durch Anbringung der Oeffnung in dem Schutzbrette vergrössert wird. Es unterliegt in der That eine solche Arbeitsvermehrung keinem Zweifel; allein es ist nicht zu übersehen, dass, da die Schutzöffnung mehr Wasser durchlässt, als der Wasserlauf liefert, das Niveau des Oberwassers immer tiefer sinkt, und man also, wenn das Oberwasser ganz abgelaufen ist, sich genöthigt sieht, die Oeffnung in der Schütze zu schliessen und eine Zeit lang zu warten, bis sich dasselbe wieder auf die anfängliche Höhe aufgestaut hat. Kurz, wenn man die Wirkung eines Wassergefälles regelmässig benutzen will, so wird man es so einzurichten haben, dass das Niveau des Oberwassers nach jedesmaligem Verlauf einer be-

stimmten Zeit, z. B. eines Tages, stets dasselbe sei, und demgemäss die Schützöffnung, wie man auch im Laufe der 24 Stunden darüber disponiren mag, doch innerhalb dieser Zeit nicht mehr Wasser durchlasse, als von dem Wasserlaufe überhaupt in dieser Zeit geliefert wird. Es ist klar, dass auf diese Weise durch Anwendung einer Schutzöffnung die tägliche Arbeit des Wassers zwar nicht vermehrt wird, dass sie aber ein bequemes Mittel an die Hand giebt, um diese Arbeit nach Belieben auf die Zwischenzeiten zu vertheilen, welches nicht möglich ist, wenn man das Wasser stets in gleicher Weise über das Wehr laufen lässt. Wenn man z. B. die Schütze nur 12 Stunden täglich statt 24 Stunden offen lässt, so kann die stündliche Arbeit des durchfliessenden Wassers doppelt so gross gemacht werden; ein Gefälle, welches beispielsweise nach §. 180 auf 15 Pferdekräfte berechnet worden ist, könnte auf die angegebene Art während dieser 12 Stunden mit 30 Pferdekräften arbeiten.

Aus dem Vorstehenden folgt also, dass die Arbeitsgrösse, welche das Wasser durch sein Gefälle leisten kann, stets dieselbe ist, wie es auch von der Seite des Oberwassers auf die des Unterwassers gelangen möge. Es versteht sich von selbst, dass hierbei nur von der gesammten Arbeit des Wassers die Rede ist, und von der Nutzarbeit nur dann dasselbe gesagt werden kann, wenn beim Ausfliessen durch die Schützen oder beim Ueberfall über das Wehr kein Verlust an Arbeit eintritt. Um diesen unvermeidlichen Verlust auf ein Minimum zu reduciren, müssen die Ausflussöffnungen durch Abrundung der Kanten derartig eingerichtet werden, dass die Flüssigkeitsfäden darin nicht genöthigt werden, ihre Richtung plötzlich zu ändern (§. 85); auch darf sich das Wasser in dem Zuleitungsrohre oder in einem Gerinne von einiger Länge nicht mit einer grossen Geschwindigkeit bewegen, damit der Verlust an Geschwindigkeit, der durch die Reibung des Wassers in sich selbst und an den festen Wänden herbeigeführt und mit der Geschwindigkeit der Bewegung vergrössert wird (§. 94), so klein als möglich werde.

Betrachten wir jetzt die Maschine, auf welche das Wassergefälle seine Arbeit überträgt, so ist sofort klar, dass das Wasser mit einer gewissen Geschwindigkeit, welche je nach den Umständen grösser oder kleiner ist, in diese Maschine eintritt, und dann dieselbe wieder verlässt, um in das Unterwasser überzugehen und abzufliessen. Ohne uns mit den verschiedenen

Einrichtungen, welche eine solche Maschine annehmen kann, zu beschäftigen, sehen wir doch so viel ohne Weiteres ein, dass sie im Allgemeinen zwei Hauptbedingungen entsprechen muss. Erstens muss das Wasser ohne Stösse wirken, das heisst, es dürfen von dem Augenblick an, wo das Wasser in die Maschine einzutreten beginnt, bis zu dem Punkte, wo es dieselbe ganz verlassen hat, keine gewaltsame oder plötzliche Aenderungen in der Richtung oder in der Grösse der Geschwindigkeit der einzelnen Flüssigkeitstheilchen eintreten. Zweitens muss das Wasser, wenn es die Maschine verlässt und in das Unterwasser gelangt, entweder gar keine oder nur noch eine sehr geringe Geschwindigkeit besitzen; geschieht dieses nicht und hat das aus der Maschine austretende Wasser noch eine merkliche Geschwindigkeit, so besitzt es noch eine entsprechend grosse lebendige Kraft, und es hat dann nicht die gesammte Arbeit, die es zu leisten vermag, an die Maschine abgegeben.

Fassen wir das Gesagte nochmals zusammen, so ergiebt sich, dass man bei der Anwendung eines hydraulischen Motors stets folgende Bedingungen im Auge behalten muss: 1) das Aufschlagewasser muss unter einem möglichst kleinen Verlust an Geschwindigkeit in die Maschine eintreten; 2) es muss darin ohne Stösse wirken; 3) es muss ohne Geschwindigkeit die Maschine verlassen und ins Unterwasser gelangen. Da diese Bedingungen in der Wirklichkeit nicht in voller Strenge erfüllt werden können, so kann auch die Arbeit einer hydraulischen Maschine niemals so gross sein, als der Totaleffect des Gefälles, welches die Maschine in Bewegung setzt. Um daher den Werth eines hydraulischen Motors zu beurtheilen, muss man sowohl direct durch den Versuch die Grösse der Arbeit bestimmen, welche derselbe in einer gewissen Zeit leistet, als auch diejenige Arbeit berechnen, welche das Wassergefälle selbst in derselben Zeit liefern würde; das Verhältniss dieser beiden Zahlen giebt ein Maass für die Güte des Motors; er ist offenbar um so besser, je mehr sich dieses Verhältniss der Einheit nähert.

182 **Eintheilung der hydraulischen Umtriebsmaschinen.** Die durch das Wasser in Bewegung gesetzten Umtriebsmaschinen zerfallen in zwei Classen, in Wasserräder und in Wassersäulenmaschinen; erstere sind Räder, auf deren Umfang das fliessende oder herabfallende Wasser einwirkt und die in Folge hiervon umgedreht werden; letztere bestehen im Wesent-

lichen aus einer mit Wasser angefüllten Röhre, welche das Wasser in einen Cylinder führt, damit es hier durch den hydrostatischen Druck gegen einen beweglichen Kolben wirke.

Die Wasserräder werden wieder eingetheilt in verticale Wasserräder mit horizontalen Wellen, und in horizontale Räder, deren Wellen vertical stehen.

Die verticalen Wasserräder zerfallen in unterschlägige, oberschlägige oder mittelschlägige Räder, je nachdem das in das Rad eintretende Wasser den unteren, den oberen oder den mittleren Theil des Radumfanges trifft. Zu den Wasserrädern der ersteren Art gehören noch die im unbegränzten Wasser hängenden Schiffsmühlenräder, wogegen die übrigen unterschlägigen Wasserräder entweder in einem ebenen Gerinne oder in einem kreisförmig gebogenen Gerinne, Kropfgerinne genannt, hängen.

Die horizontalen Wasserräder mit verticaler Achse, welche man im Allgemeinen auch wohl mit dem Namen der Turbinen oder der Kreiselräder bezeichnet, werden entweder durch den Stoss oder durch den Druck- oder durch Reaction des Wassers bewegt, wonach man Stoss-, Druck- und Reactionsräder von einander unterscheidet.

Die Wassersäulenmaschinen endlich zerfallen in einfach und in doppelt wirkende Maschinen, je nachdem die drückende Wassersäule den Kolben bloss nach einer Seite hin bewegt und es dann dem eigenen Gewichte desselben überlässt, ihn nach der anderen Seite zurück zu bringen, oder ihn sowohl ab- wie aufwärts bewegt.

Es wird nun unsere Aufgabe sein, die wichtigeren der genannten hydraulischen Umtriebsmaschinen in der bezeichneten Reihenfolge näher zu verfolgen, ihre Wirkungsweise zu erläutern und hieraus zur Beurtheilung ihrer Leistungsfähigkeit das nöthige Material zu gewinnen.

Das unterschlägige Schaufelrad, Fig. 274 (a. f. S.), hängt 183
meistens in einem horizontalen, das Rad nur tangirenden Gerinne, Schnurgerinne, zuweilen aber auch, wie in Fig. 275, in einem den unteren Theil des Rades mit einem kleinen Bogen BA umgebenden Kropfgerinne. Wenn die Schütze AD aufgezogen wird, fliesst das Wasser unter derselben mit einer Geschwindigkeit aus, welche der Höhe seines Niveaus über der Ausflussöffnung entspricht; es trifft dann auf die meist einfachen, radial gestellten Schaufeln und treibt durch den Druck, den es

gegen dieselben ausübt, das Rad rund. Unter dieser Einwirkung des Wassers nimmt das Rad eine gewisse Geschwindigkeit

Fig. 274.

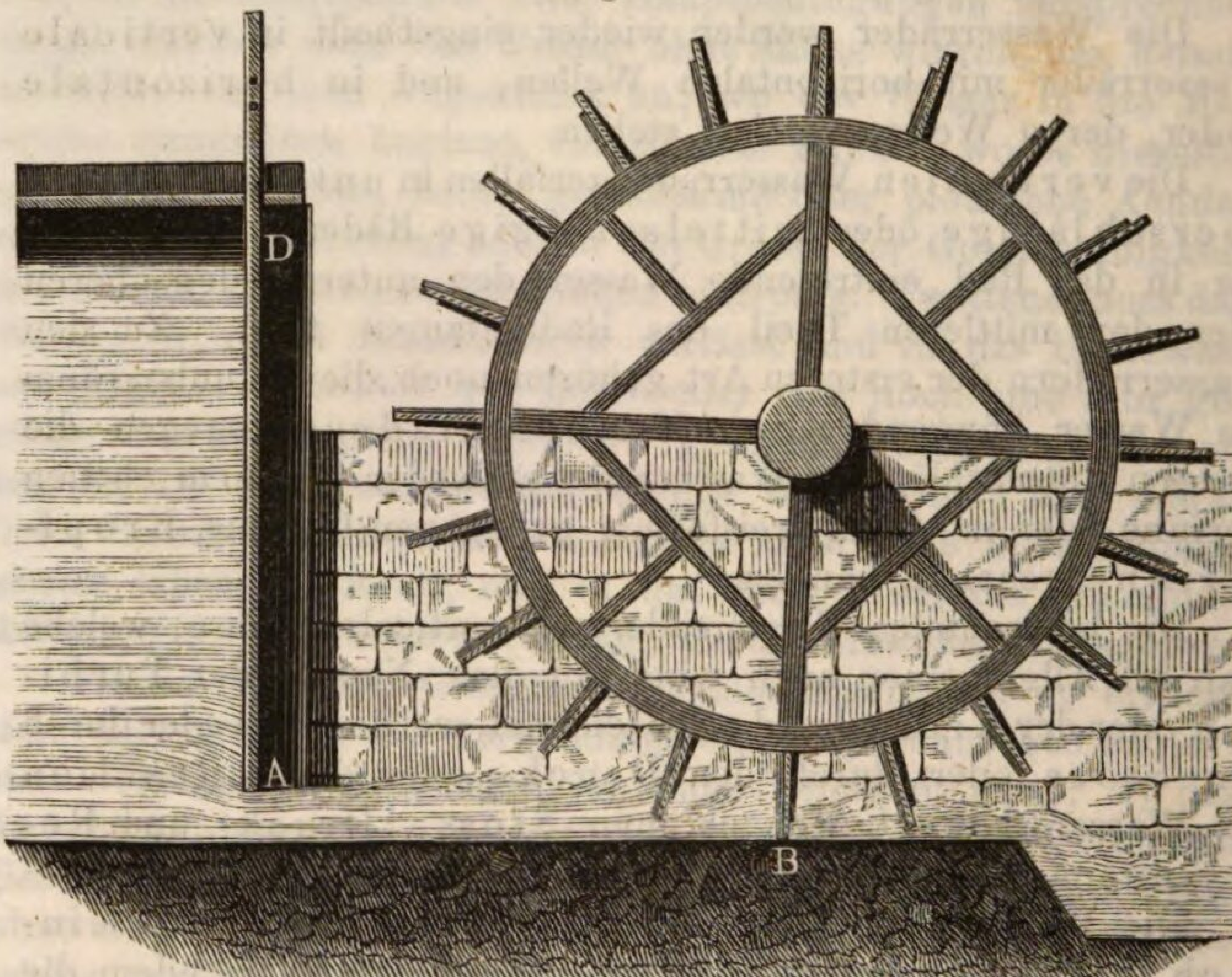
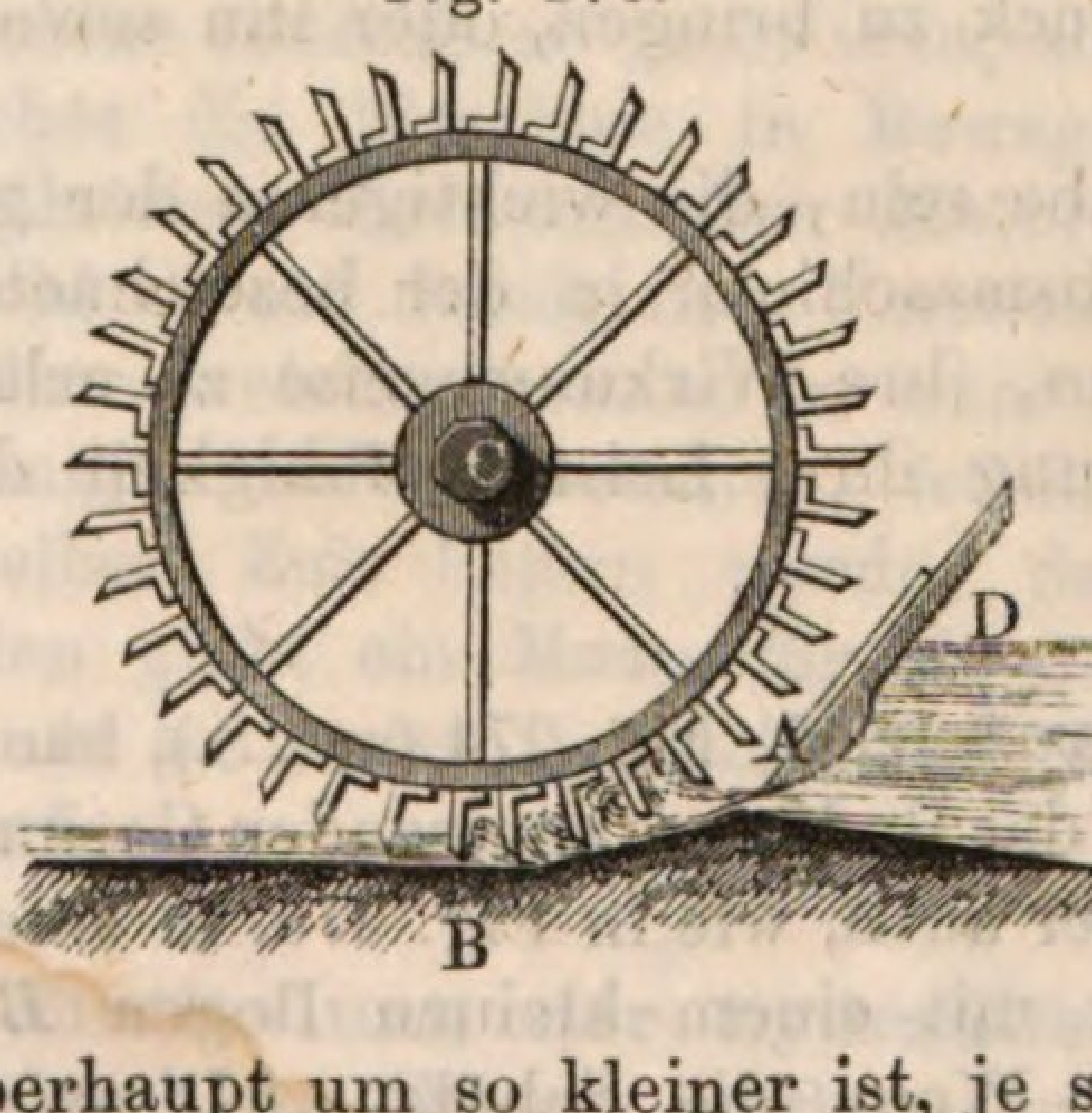


Fig. 275.



an, die von der Grösse des zu überwindenden Widerstandes abhängt; es dreht sich daher um so langsamer, je grösser dieser Widerstand ist. Wir haben bereits früher (I. §. 229) gesehen, dass der von dem Wasser gegen die Schaufeln ausgeübte **Druck**, wenn dieselben sich in der Richtung des Druckes bewegen, nicht so gross ist, als wenn sie still stehen, und dass dieser Druck überhaupt um so kleiner ist, je schneller sich die Schaufeln bewegen und so zu sagen dem Druck des Wassers ausweichen. Um daher mit einem solchen Rade einen gegebenen Widerstand überwinden zu können, muss dasselbe unter der Einwirkung des fliessenden Wassers eine solche Geschwindigkeit annehmen, dass

für dieselbe der Druck des Wassers gegen die Schaufeln zu dem zu überwindenden Widerstande in einem richtigen Verhältnisse steht. Wenn aus irgend einer Ursache die Geschwindigkeit des Rades einmal zufällig kleiner würde, so würde der Druck des Wassers gegen die Schaufeln grösser; ein Theil dieses Druckes würde dann hinreichen, um die ursprünglichen Widerstände zu überwinden, wogegen der übrige Theil die Bewegung des Rades so lange beschleunigen würde, bis zwischen dem Drucke des Wassers und den neuen, durch die beschleunigte Bewegung grösser gewordenen Widerständen wieder Gleichgewicht eingetreten wäre. Wenn dagegen das Rad sich zufällig einmal schneller drehte, so würde der Druck des Wassers gegen die Schaufeln abnehmen und nicht mehr hinreichen, die entgegenstehenden Widerstände ganz zu überwinden; die Bewegung des Rades würde sich daher so lange verzögern, bis mit dem hierdurch wieder anwachsenden Druck die alten Widerstände wieder überwunden werden könnten.

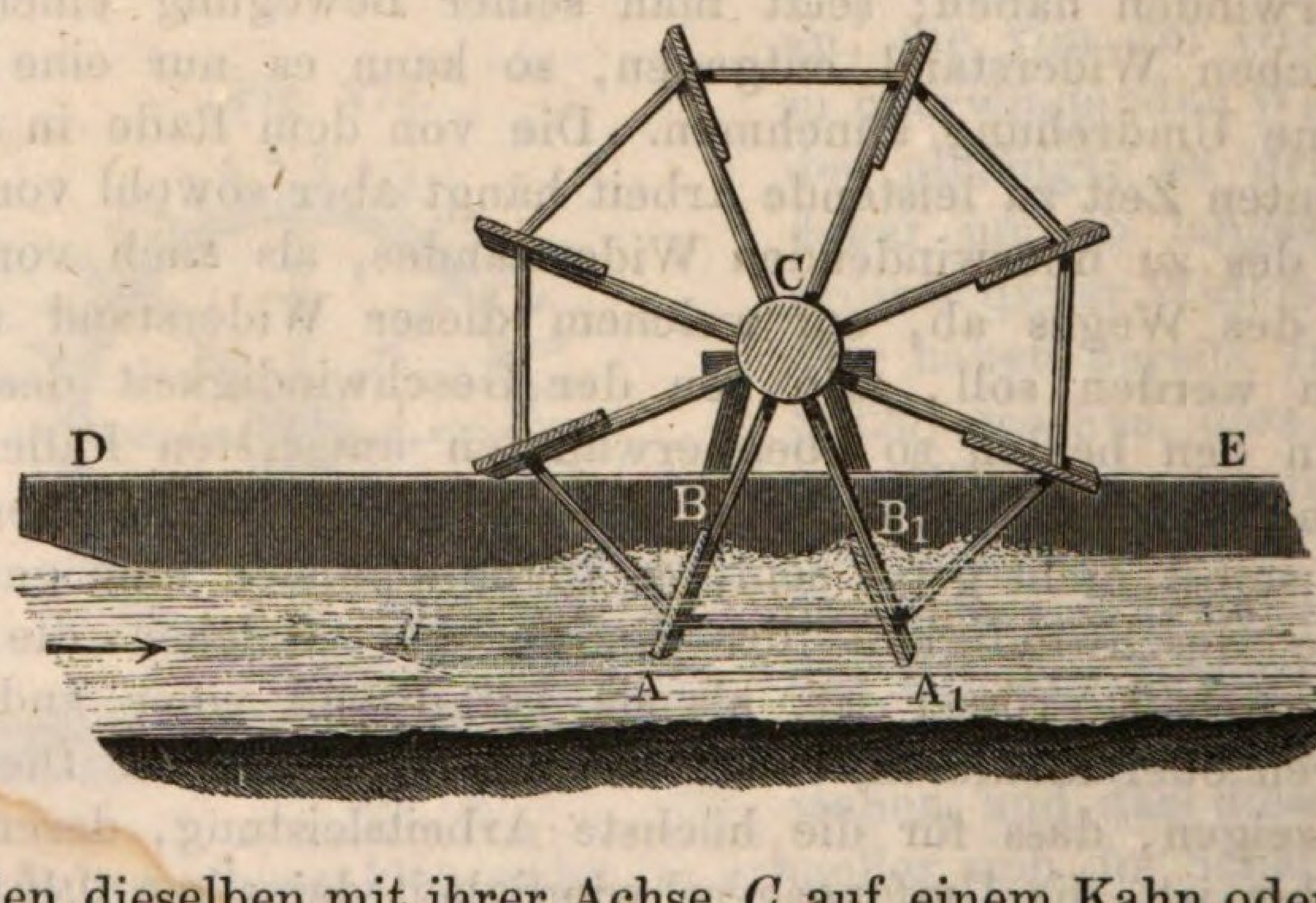
Man sieht hieraus, dass man durch Regulirung der Widerstände dem Rade jede beliebige Geschwindigkeit geben kann; allein die Arbeitsgrösse, welche das Rad von dem Wasser aufnehmen kann, ist für die verschiedenen Geschwindigkeiten, mit welcher es sich rund dreht, nicht dieselbe. Wenn das Rad sehr schnell umlaufen soll, darf es nur einen geringen Widerstand zu überwinden haben; setzt man seiner Bewegung einen beträchtlichen Widerstand entgegen, so kann es nur eine sehr langsame Umdrehung annehmen. Die von dem Rade in einer bestimmten Zeit zu leistende Arbeit hängt aber sowohl von der Grösse des zu überwindenden Widerstandes, als auch von der Länge des Weges ab, auf welchem dieser Widerstand überwunden werden soll, also von der Geschwindigkeit des Rades. In den beiden so eben erwähnten äussersten Fällen ist der eine dieser Factoren sehr klein, und es kann daher die Arbeit selbst nicht gross sein; es giebt demnach eine gewisse mittlere Geschwindigkeit des Rades, bei welcher die geleistete Arbeit grösser ist, als sie bei irgend einer anderen, grösseren oder kleineren, Geschwindigkeit sein würde. Die Versuche zeigen, dass für die höchste Arbeitsleistung, deren das Rad fähig ist, die Umfangsgeschwindigkeit desselben 0,45 oder $^{9}/_{20}$ von der Geschwindigkeit sein muss, mit welcher das Aufschlagewasser in dem Gerinne gegen die Schaufeln ankommt.

Die unterschlägigen Wasserräder mit ebenen Schaufeln bleiben hinter den Anforderungen, welche wir in §. 181 für die

hydraulischen Motoren aufgestellt haben, weit zurück. Zunächst verliert nämlich das Wasser durch die Reibung an den Wänden des Schnur- oder Kropfgerinnes einen Theil seiner Geschwindigkeit; dann geht in dem Augenblicke, wo das Wasser auf eine Schaufel trifft, plötzlich wieder ein Theil der übrigen Geschwindigkeit verloren, weil es die Geschwindigkeit des Rades annehmen muss; und endlich hat das Wasser, wenn es das Rad verlässt, immer noch eine bedeutende Geschwindigkeit, die sich an der wallenden Bewegung des Unterwassers noch in einer bedeutenden Entfernung von dem Rade zu erkennen giebt. Die Wasserräder dieser Art sind daher schlechte Umtriebsmaschinen. Wenn man mit Hülfe eines Bremsdynamometers (I. §. 230) die Arbeit bestimmt, welche ein solches Rad bei der vortheilhaftesten Geschwindigkeit zu liefern im Stande ist, so findet man, dass dieselbe nicht mehr beträgt, als höchstens 0,25 oder $\frac{1}{4}$ der Arbeit, welche dem verbrauchten Wasserquantum entspricht, dass also die übrigen $\frac{3}{4}$ dieser letzteren Arbeit nutzlos verloren gehen.

184 **Das frei hängende oder das Schiffsmühlenrad** hängt nicht in einem besonderen Gerinne, sondern, wie die Fig. 276 zeigt, frei in einem Kanale oder in einem Flusse. Gewöhnlich

Fig. 276.



werden dieselben mit ihrer Achse C auf einem Kahn oder einem Schiffe DE aufgestellt, das durch Anker im Flusse selbst, oder durch Seile am Ufer wohl befestigt ist. In der Regel haben diese Räder gar keinen Kranz und ihre Schaufeln AB, $A_1 B_1$ sind unmittelbar auf den Radarmen befestigt. Die Zahl der

letzteren beträgt sechs bis zwölf; sie sind meist sehr lang und breit, damit sie einen grossen Wasserstrom aufnehmen können; um das Biegen der Radarme zu verhüten, werden sie durch Streben paarweise mit einander verbunden.

Da die Bewegungsarbeit, welche von dem frei fliessenden Wasser des Flusses geleistet wird, überflüssig gross ist, und man nur einen sehr kleinen Theil dieser gesammten Arbeit nutzbar zu machen hat, so handelt es sich bei dieser Art Räder weniger darum, durch besondere Formen der Schaufeln die Wasserkraft möglichst vortheilhaft zu verwerthen, als vielmehr den erforderlichen Theil derselben durch möglichste Einfachheit in der Construction und die Rücksicht auf Solidität zu erzielen.

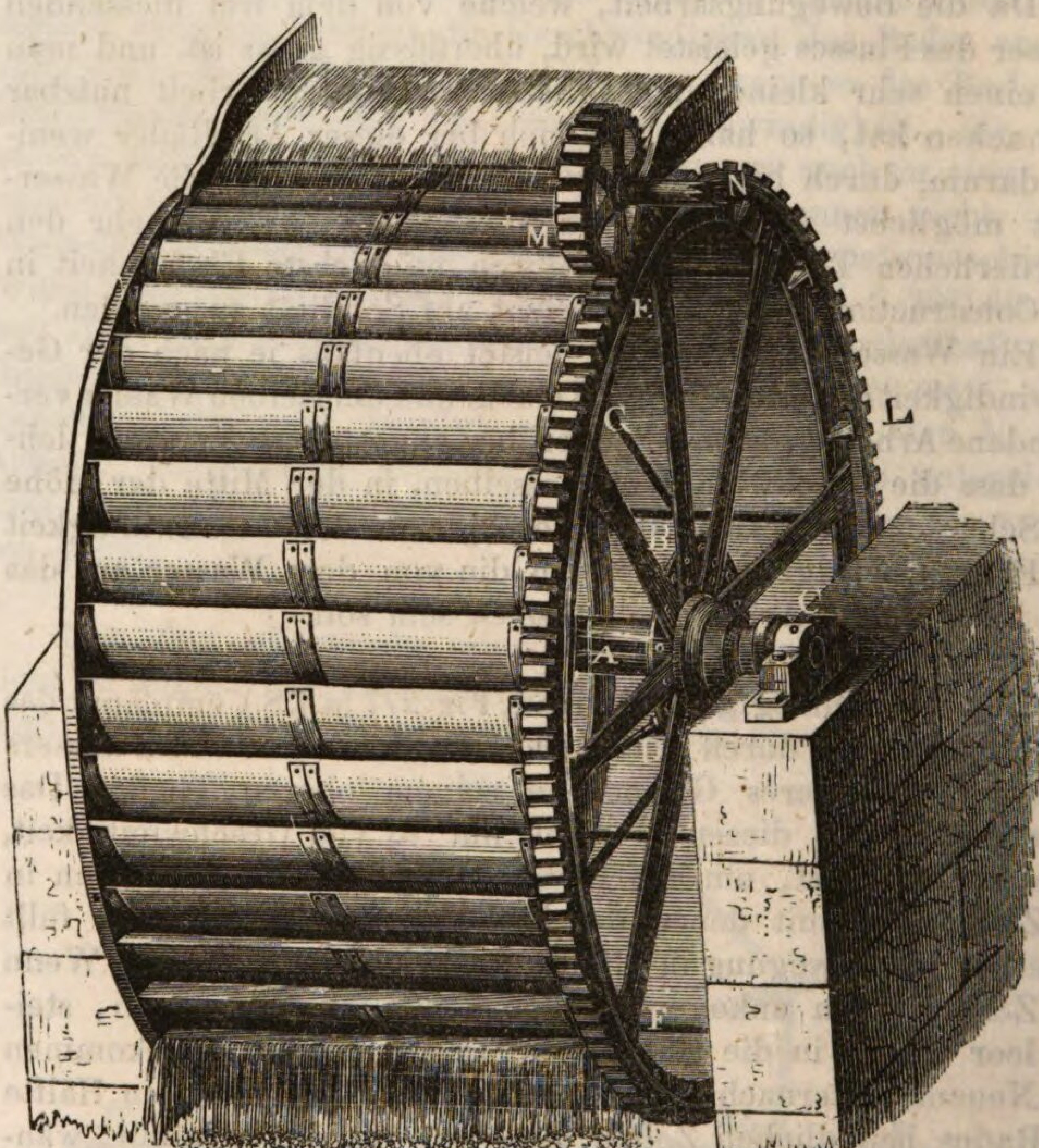
Ein Wasserrad dieser Art leistet ebenfalls je nach der Geschwindigkeit der Umdrehung in einem und demselben Wasser verschiedene Arbeitsgrössen; die hierüber angestellten Versuche lehren, dass die Geschwindigkeit desselben, in der Mitte der Höhe der Schaufeln gemessen, 0,4 oder $^2/_5$ von der Geschwindigkeit des Flusses betragen muss, wenn die von dem Wasser auf das Rad übertragene Arbeit am grössten sein soll.

Das oberschlägige Zellenrad, Fig. 277 (a. f. S.), empfängt das 185
Aufschlagewasser durch ein beinahe im Niveau des Oberwassers liegendes besonderes Gerinne in seinem oberen Theile. Das Wasser erhält in diesem Gerinne nur so viel Geschwindigkeit, als erforderlich ist, um das Rad zu erreichen; es fällt dann in die Zellen ein, mit denen der Radkranz besetzt ist, und füllt diese bei der Bewegung des Rades nacheinander ganz an. Wenn die Zellen unten ankommen, geben sie ihr Wasser ab, steigen leer wieder in die Höhe und füllen sich oben angekommen von Neuem. Hiernach sind also die in der absteigenden Hälfte des Rades befindlichen Zellen stets mit Wasser angefüllt, während die aufwärts gehenden auf der anderen Seite des Rades stets leer sind; das Rad ist daher auf der einen Seite schwerer, als auf der anderen und muss sich daher in Folge des andauernden Bestrebens, die stabile Gleichgewichtslage einzunehmen, beständig rund drehen.

Die Fig. 277 bezieht sich auf die Construction eines eisernen Rades; die Radarme BE, DF . . sind durch Schrauben mit den Scheiben BD fest verbunden, welche ihrerseits auf der Welle AC fest aufsitzen. Um viel Wasser in die Zellen aufnehmen zu können, werden diese Räder meist sehr weit gemacht und erhalten dann noch mitten zwischen den beiden Sei-

tenkränzen einen dritten durch Diagonalarme *B G* verstrebten Kranz. Auf einem der äusseren Kränze sitzt ein Zahnrad *ELF*, welches in ein anderes Zahnrad *M* eingreift, von dessen Welle

Fig. 277.

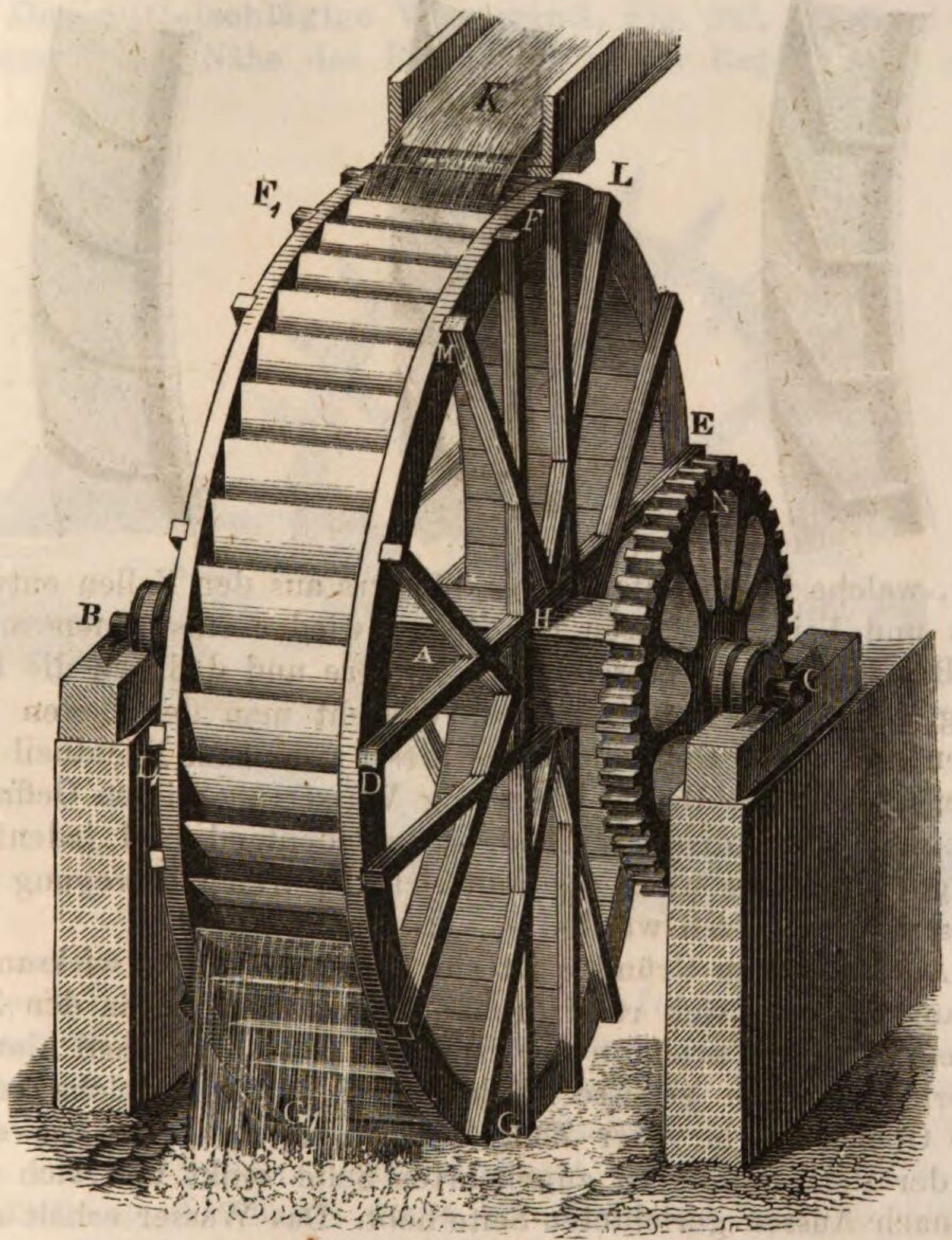


N dann die weitere Arbeit des Wasserrades fortgepflanzt wird. Die Zellenwände sind von Eisenblech, welches mit Schrauben auf Rippen befestigt ist, die an der inneren Seite der Radkränze angegossen sind.

Die Fig. 278 zeigt die Einrichtung eines hölzernen, oberschlägigen Zellenrades, wie es beim sächsischen Bergbau in einem Durchmesser von 20 bis 50 Fuss häufig angewandt wird. *A* ist die Welle des Rades mit den Zapfen *B* und *C*; zwischen die Hauptarme *DE*, *FG* . . sind der grösseren Festigkeit wegen noch die Helfarme *HM*, *HL* . . eingesetzt, welche

mit den ersteren die Radkränze DFG und $D_1 F_1 G_1$ zu tragen haben. K ist wieder das Aufschlaggerinne, N das Zahnrad zur weiteren Fortpflanzung der Bewegung.

Fig. 278.



Da bei den Rädern dieser Art das Wasser durch sein Gewicht wirkt, so ist vorzugsweise darauf zu sehen, dass die Zellen eine Einrichtung erhalten, wonach sie sich erst in einer möglichst tiefen Lage entleeren können; denn es ist klar, dass der Verlust an Arbeit um so grösser wird, je früher das Wasser seine Zellen verlässt. Andererseits aber darf die Mündung der Zellen auch nicht zu enge sein, damit das Wasser, wenn es unten angekommen ist, ungehindert ausfliessen kann. Die Figuren

279, 280 und 281 zeigen die am häufigsten vorkommenden Formen, welche man den Zellenwänden zu geben pflegt. Damit die

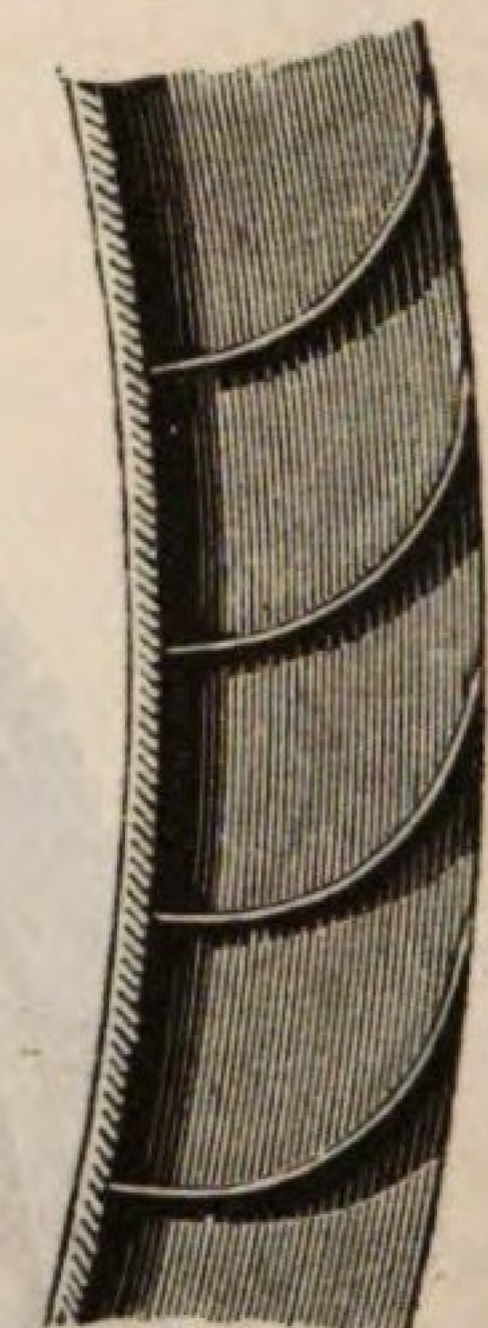
Fig. 279.



Fig. 280.



Fig. 281.



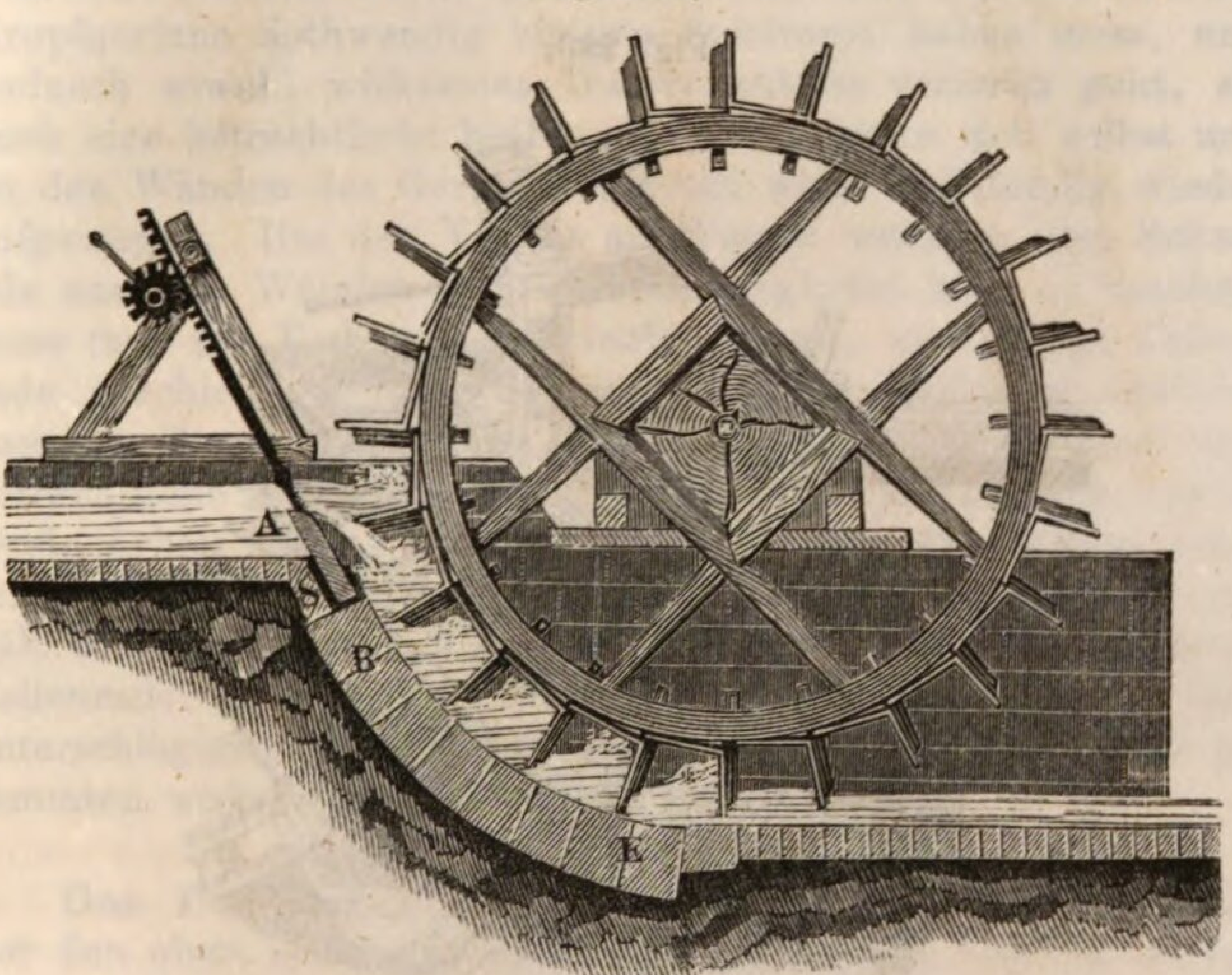
Luft, welche beim Einfallen des Wassers aus den Zellen entweichen und beim Entleeren der Zellen wieder einströmen muss, die Bewegung des Wassers nicht hindere und dadurch die Leistung des Rades beeinträchtige, versieht man den Boden der Zellen mit feinen Oeffnungen; es fliesst zwar zum Nachtheil der Arbeitsgrösse des Rades ein wenig Wasser aus diesen Oeffnungen aus, allein dieser Verlust ist unbedeutend und jedenfalls viel geringer, als wenn die Luft sich der freien Bewegung des Wassers widersetzen würde.

Aus mehreren Gründen ist ein Zellenrad um so wirksamer, je langsamer es sich rund dreht. Da nämlich das in den Zellen enthaltene Wasser an der Drehung des Rades Theil nimmt, so erhält es eine gewisse Fliehkraft (I. §. 135), welche seine freie Oberfläche in jeder Zelle derart abändert, dass sie sich auf der dem Radinnern zugekehrten Seite senkt und sich auf der nach Aussen gerichteten Seite hebt. Das Wasser erhält also in den Zellen das Bestreben, die Zelle früher zu verlassen, als es bei still stehendem Rade geschehen würde, und dieses Bestreben wächst offenbar mit der Geschwindigkeit der Drehung. Andererseits aber übt das aus dem Aufschlaggerinne mit einer geringen Geschwindigkeit in die Zellen eintretende Wasser auf diese keinen Stoss aus, und tritt auch, im Gegensatze zu dem unterschlägigen Schaufelrade, fast ohne Geschwindigkeit in das Unterwasser ein, wenn sich das Rad nur langsam dreht. Aus diesen Gründen leisten daher auch gut eingerichtete Zellenräder

0,75 oder $^3/_4$ der gesammten von dem bewegten Wasser ausgeführten Arbeit, und empfehlen sich vor allen anderen Wasserrädern bei Gefällen von 10 bis 36 Fuss.

Das mittelschlägige Wasserrad, Fig. 282, empfängt das 186
Wasser in der Nähe des Radmittels in der Regel durch eine

Fig. 282.

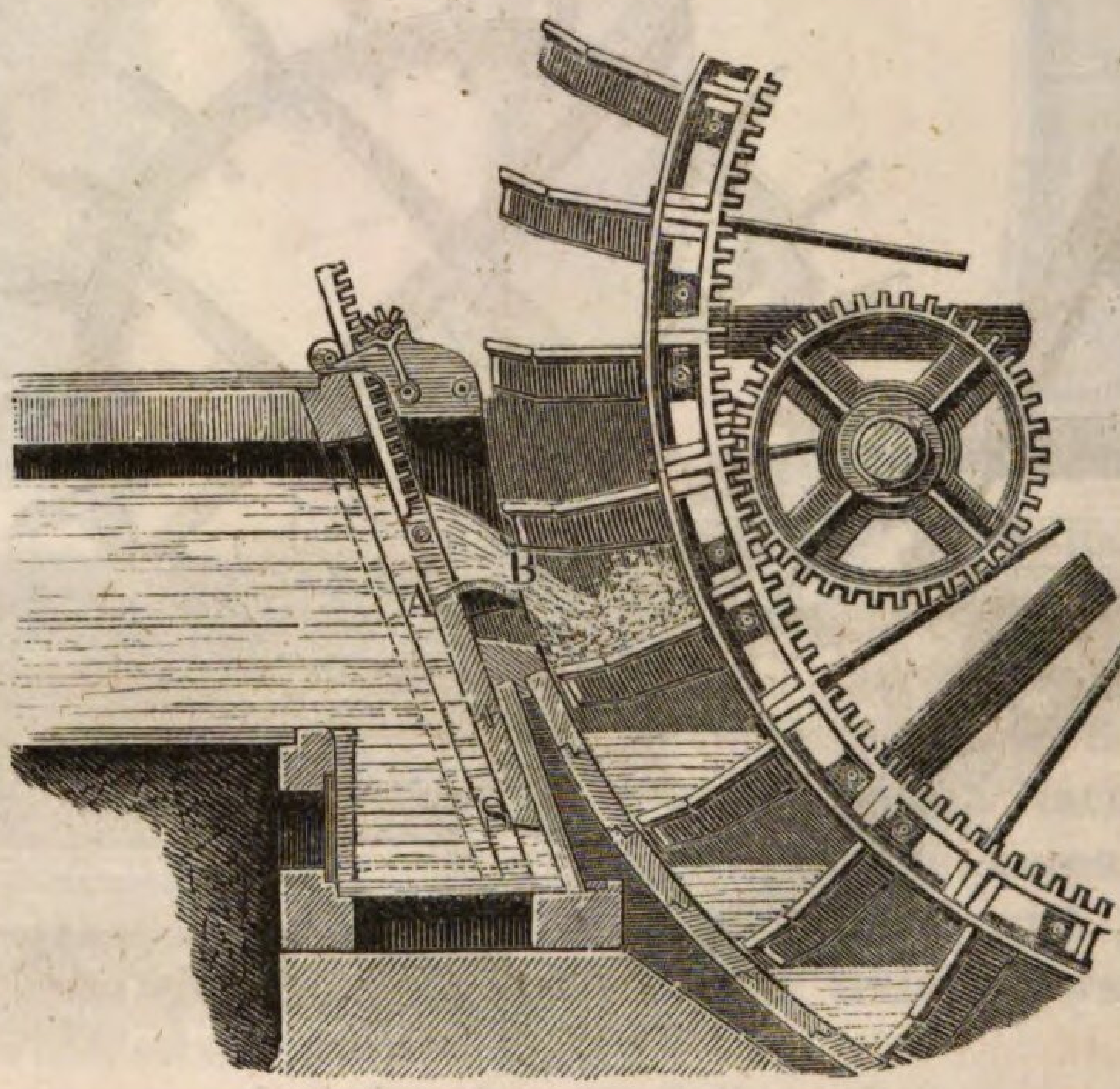


Ueberfall- oder durch eine Leitschaufelschütze *AS*; das Wasser tritt dabei über den abgerundeten Kopf *A* des Schutzbrettes oder über eine auf dem Schutzbrette befestigte abgerundete Leitschaufel *AB* in die Radschaufeln ein. Die letzteren sind bald eben, bald gekrümmt, und bewegen sich bei der Drehung des Rades durch ein kreisbogenförmiges Kropfgerinne *BE*, in dessen oberen Theil das Aufschlagewasser eingeleitet wird. Das Wasser wirkt dabei in zweifacher Weise; bei seinem Eintreten in das Rad übt es nämlich, wie bei den unterschlägigen Rädern, gegen die Schaufeln einen Stoss aus; dann aber verweilt es, wie bei den oberschlägigen Rädern, in dem Kropfgerinne auf den Schaufeln und wirkt durch sein Gewicht, bis es in dem tiefsten Punkte des Rades angekommen ist.

Durch die Einrichtung, die man dem Rade giebt, hat man es in der Hand, die eine oder die andere Wirkungsweise des

Wassers vorwiegen zu lassen; es ist jedoch aus dem Vorhergehenden klar, dass man die Wirkung des oberschlägigen Wasserrades vorziehen wird, weil es einen weit grösseren Theil der Wasserkraft nutzbar verwendet, als das unterschlägige. Man lässt daher in der Regel das Wasser nicht unter dem Schutzbrette in die Radschaufeln eintreten, sondern leitet es, wie in Fig. 282 und in Fig. 283, vermittelst einer das Wasser etwas

Fig. 283.



aufstauenden Schütze AB nach Art eines Ueberfalls in das Rad. Das Wasser kommt dann mit einer geringen Geschwindigkeit in die Schaufeln und wirkt darin fast ausschliesslich durch sein Gewicht.

Bei einem Vergleiche des mittelschlägigen Rades der letzteren Art mit dem oberschlägigen Zellenrade ergeben sich sogar einige Vortheile, die es vor dem letzteren Rade voraus hat. Zuerst hört das zwischen den Schaufeln und den Wänden des Gerinnes befindliche Wasser nicht eher auf, durch sein Gewicht auf die Schaufeln zu wirken, bis es unten im Rade angekommen ist, während bei dem Zellenrade das Wasser schon die Zellen verlässt, bevor es noch den tiefsten Punkt im Rade erreicht hat. Dann aber hat das mittelschlägige Rad nicht das ganze Gewicht des wirksamen Wassers zu tragen, weil dieses Gewicht sich in zwei Seitenkräfte zerlegt, von denen nur die

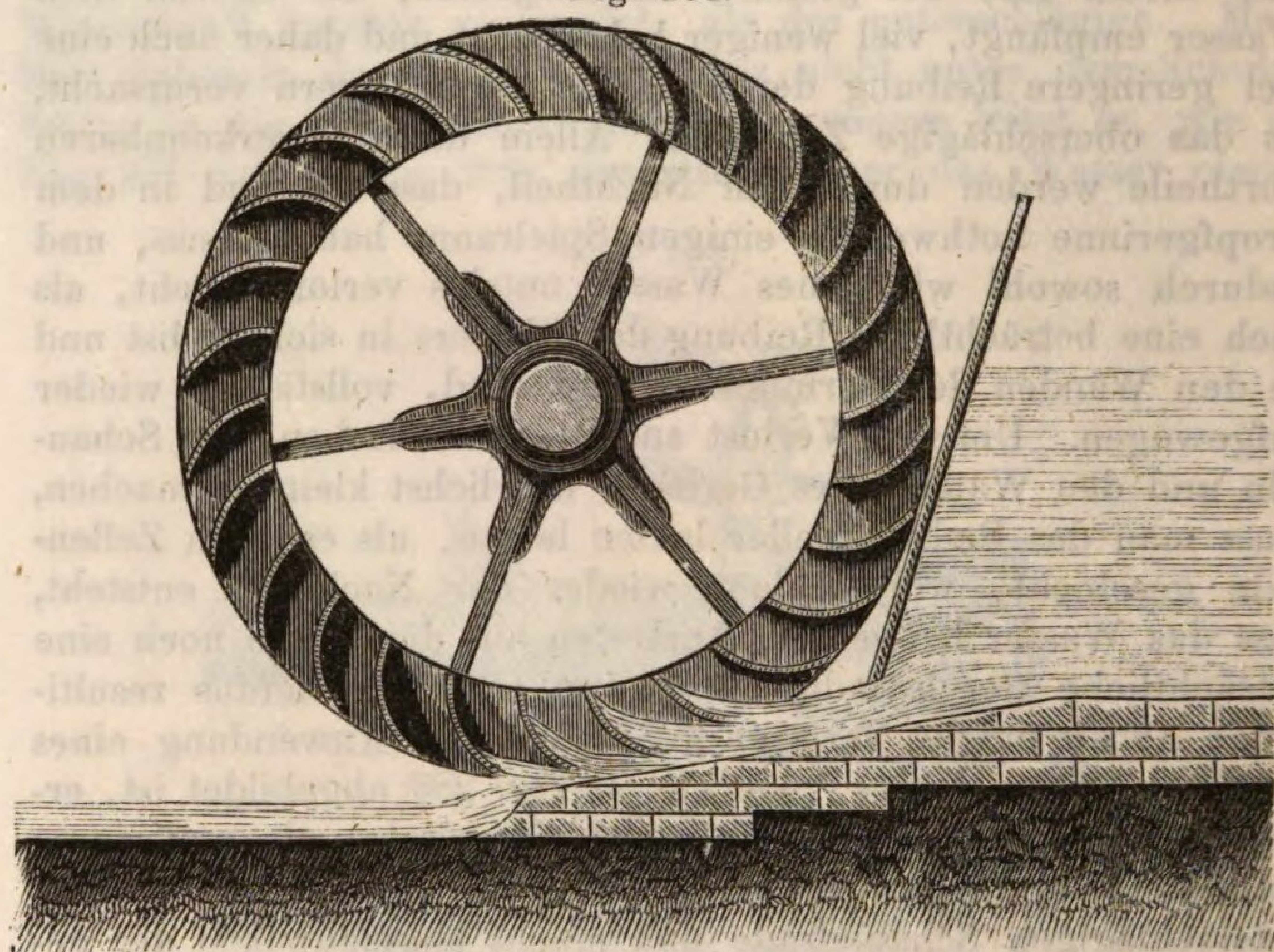
eine auf die Schaufeln als Druck wirkt, die andere aber von dem Boden des Gerinnes aufgehoben wird. Es folgt hieraus, dass dieses Rad bei gleicher Arbeitsgrösse, die es von dem Wasser empfängt, viel weniger belastet ist und daher auch eine viel geringere Reibung der Achse in ihren Lagern verursacht, als das oberschlägige Zellenrad. Allein diese unverkennbaren Vortheile werden durch den Nachtheil, dass das Rad in dem Kropfgerinne nothwendig einigen Spielraum haben muss, und dadurch sowohl wirksames Wasser nutzlos verloren geht, als auch eine beträchtliche Reibung des Wassers in sich selbst und an den Wänden des Gerinnes erzeugt wird, vollständig wieder aufgewogen. Um den Verlust an Wasser zwischen den Schaufeln und den Wänden des Gerinnes möglichst klein zu machen, muss man das Rad schneller laufen lassen, als es beim Zellenrade geschieht, woraus dann wieder der Nachtheil entsteht, dass das Wasser bei seinem Austreten aus dem Rade noch eine beträchtliche Geschwindigkeit besitzt und die hieraus resultirende Arbeit nutzlos verloren geht. Bei der Anwendung eines mittelschlägigen Rades, wie sie in Fig. 283 abgebildet ist, erhält man daher auch weniger gute Resultate, als von einem Zellenrade; es verdient jedoch entschieden den Vorzug vor dem unterschlägigen Schaufelrade und macht ungefähr 0,65 der gesammten wirksamen Wasserkraft verwendbar.

Das Poncelet-Rad. Die unterschlägigen Räder haben 187
vor den ober- und mittelschlägigen Rädern den Vortheil voraus, dass sie sich mit einer ziemlich grossen Geschwindigkeit bewegen, und desshalb, da das Wasser nur kurze Zeit in ihrem Innern verweilt und also die jedesmal darin enthaltene Wassermenge viel kleiner ist, als bei den anderen Rädern, für eine gleiche Quantität des Aufschlagewassers ihre Breite kleiner sein kann. Es fragt sich daher, ob man es nicht durch eine zweckmässigere Einrichtung des unterschlägigen Rades dahin bringen kann, dass es einen weit grösseren Theil der Wasserkraft nutzbar verwendet, ohne den genannten Vortheil wieder aufgeben zu müssen.

Poncelet hat in dem unterschlägigen Rade, welches in Fig. 284 (a. f. S.) abgebildet ist und das seinen Namen trägt, diese Aufgabe gelöst; es ist, wie man sieht, ein unterschlägiges Rad, in welchem die zwischen den Seitenkränzen angebrachten Schaufeln so gekrümmt sind, dass sie den äusseren Umfang des Rades beinahe tangiren. Es ist leicht einzusehen, dass man von einem

solchen Rade eine grössere Leistung erhält, als von dem gewöhnlichen unterschlägigen Rade. Denn erstens bringt das an

Fig. 284.



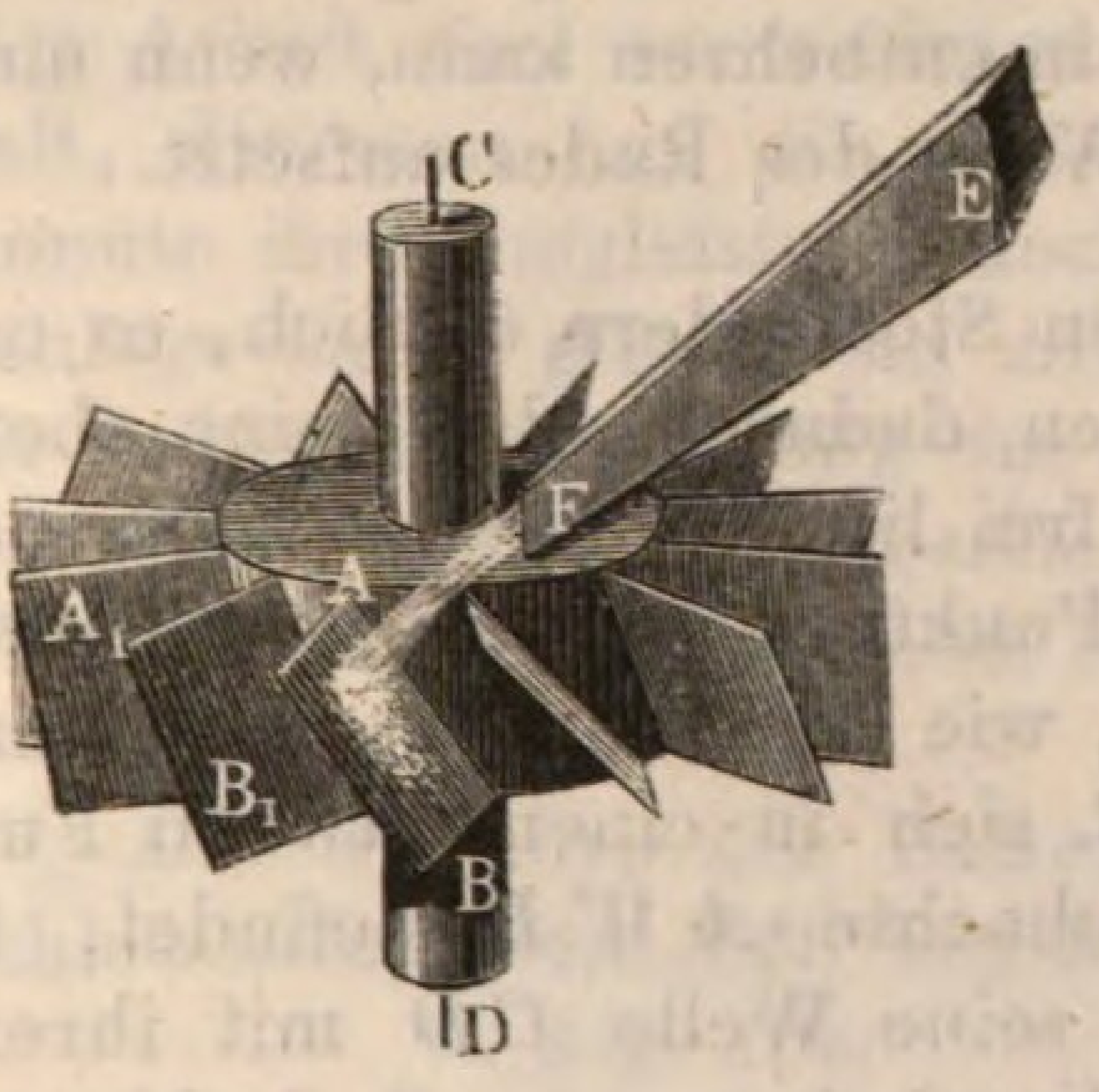
der hohlen Seite der Schaufeln einströmende Wasser gegen die scharfen Kanten derselben fast gar keinen Stoss hervor, wogegen der mehr oder weniger rechtwinklige Stoss gegen die ebenen Schaufeln (Fig. 274) bedeutend gross ist. Andererseits verlässt das Wasser bei einer angemessenen Geschwindigkeit der Umdrehung die Schaufeln mit einer sehr kleinen Geschwindigkeit, was sich aus einer genaueren Betrachtung seiner Bewegung im Rade leicht ergiebt. Da nämlich das Wasser in jede Schaufel mit einer Geschwindigkeit eintritt, die grösser ist, als die der Schaufel, so muss es über die Schaufelfläche hingleiten, und in der Krümmung so hoch hinaufsteigen, bis die Schwere diese aufsteigende Bewegung aufgehoben hat. Von nun an bewegt es sich wieder abwärts und erhält bei seiner rückgängigen Bewegung über die Schaufel in Bezug auf diese eine immer grösser werdende entgegengesetzte Geschwindigkeit. Wenn man daher die Krümmung der Schaufeln derartig macht, dass diese relative Geschwindigkeit des Wassers in dem Augenblicke, wo es die Schaufel verlässt, gerade gleich der Umfangsgeschwindigkeit des Rades ist, so ist es für das Wasser genau ebenso, als wenn der äusserste Theil der Schaufel sich unter ihm

wegzöge, ohne es mitzunehmen, das heisst, seine wirkliche Bewegung ist so zu sagen Null. Nimmt man noch hinzu, dass die Neigung der Schütze den durch die Reibung des Wassers an den Gerinnwänden entstehenden Arbeitsverlust fast gänzlich beseitigt, so wird man leicht begreifen, warum das Ponceletrad den oben aufgestellten allgemeinen Anforderungen, so weit ein unterschlägiges Rad dieses überhaupt zu thun vermag, vollständig entspricht.

Den darüber angestellten Versuchen zufolge muss für das Maximum des Nutzeffects die Umfangsgeschwindigkeit des Rades 0,55 von der des Aufschlagewassers betragen. In diesem Falle liefert dasselbe 0,56 bis 0,60 der gesammten Arbeit des zur Verwendung kommenden Wassers, während, wie wir gesehen haben, das gewöhnliche unterschlägige Wasserrad mit ebenen Schaufeln davon nur $^1/_4$ nutzbar verwendet.

Die Stossräder haben einen horizontal stehenden Radkranz mit verticaler Welle, und sind mit ebenen oder ausgehöhlten Schaufeln versehen, auf welche das Wasser in mehr 188
oder weniger rechtwinkeliger Richtung durch Stoss wirkt. Die einfachsten Räder dieser Art haben, wie Fig. 285 zeigt, 16 bis 20 rechteckige und unter 50 bis 70 Grad Neigung gegen den Horizont gestellte Schaufeln AB, A_1B_1 u. s. w., denen das Wasser mittelst eines sich verengenden geschlossenen Gerinnes EF von 40 bis 20 Grad Neigung in beinahe senkrechter Richtung zugeleitet wird. Sie werden bei einem Gefälle von 10 bis 20 Fuss angewendet, haben einen Durchmesser von 5 Fuss und kommen vorzugsweise im südlichen Europa, in den Alpen, den Pyrenäen und in Algier vor.

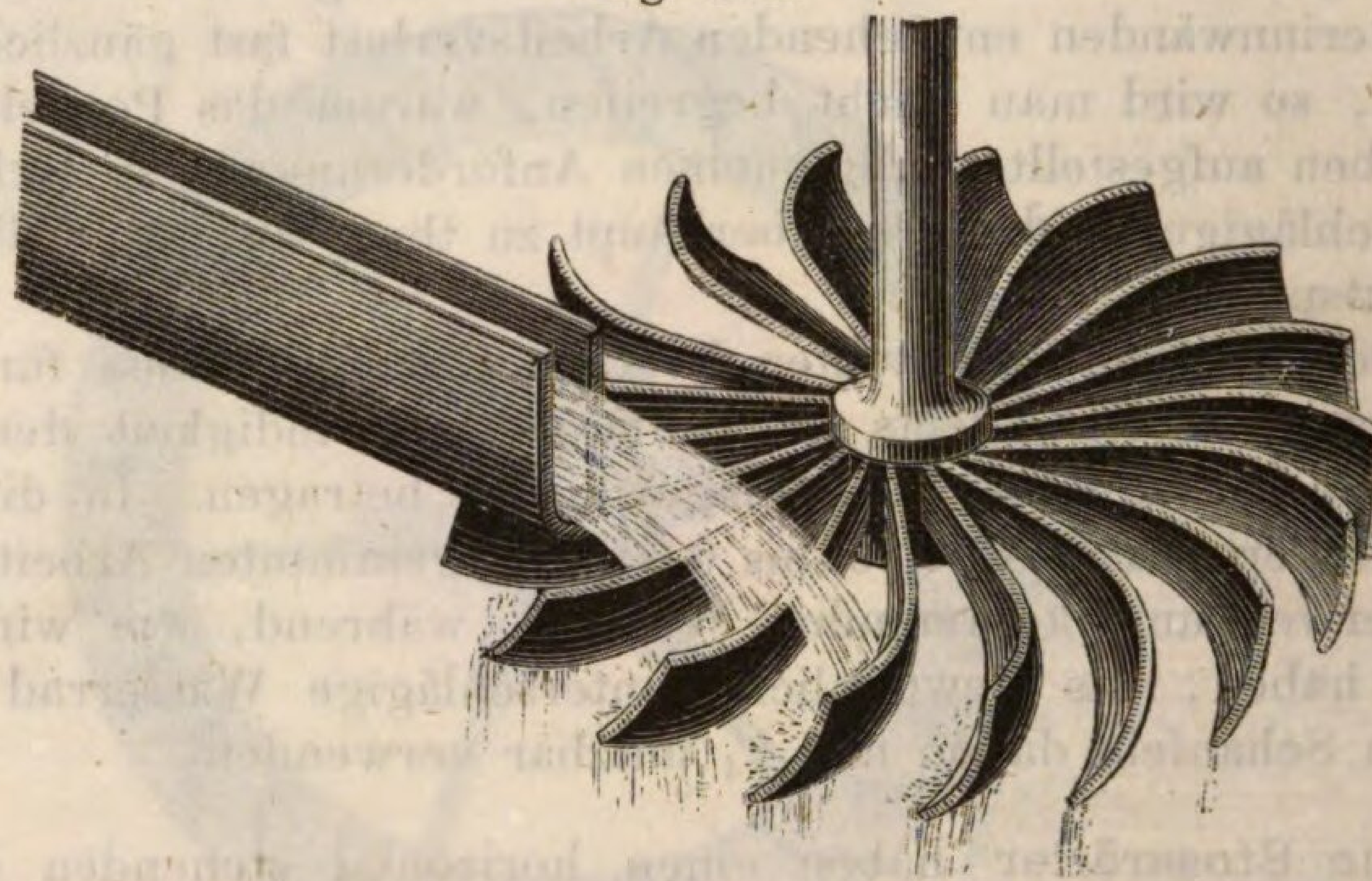
Fig. 285.



Giebt man, wie bei dem Löffelrade, Fig. 286 (a. f. S.), den Schaufeln eine grössere Länge und eine Aushöhlung, so übt das Wasser ausser dem Stosse auch noch einen fortgesetzten Druck gegen dieselben aus, so dass das Rad einen grösseren Effect hervorbringt, als das blosse Stossrad. Der Versuch lehrt, dass derartige Räder beinahe $^1/_3$ der von dem Aufschlagewasser geleisteten Arbeit nutzbar verwenden, wenn ihre Geschwindigkeit

an der von dem Wasser getroffenen Stelle 0,70 der Geschwindigkeit des Wassers selbst beträgt.

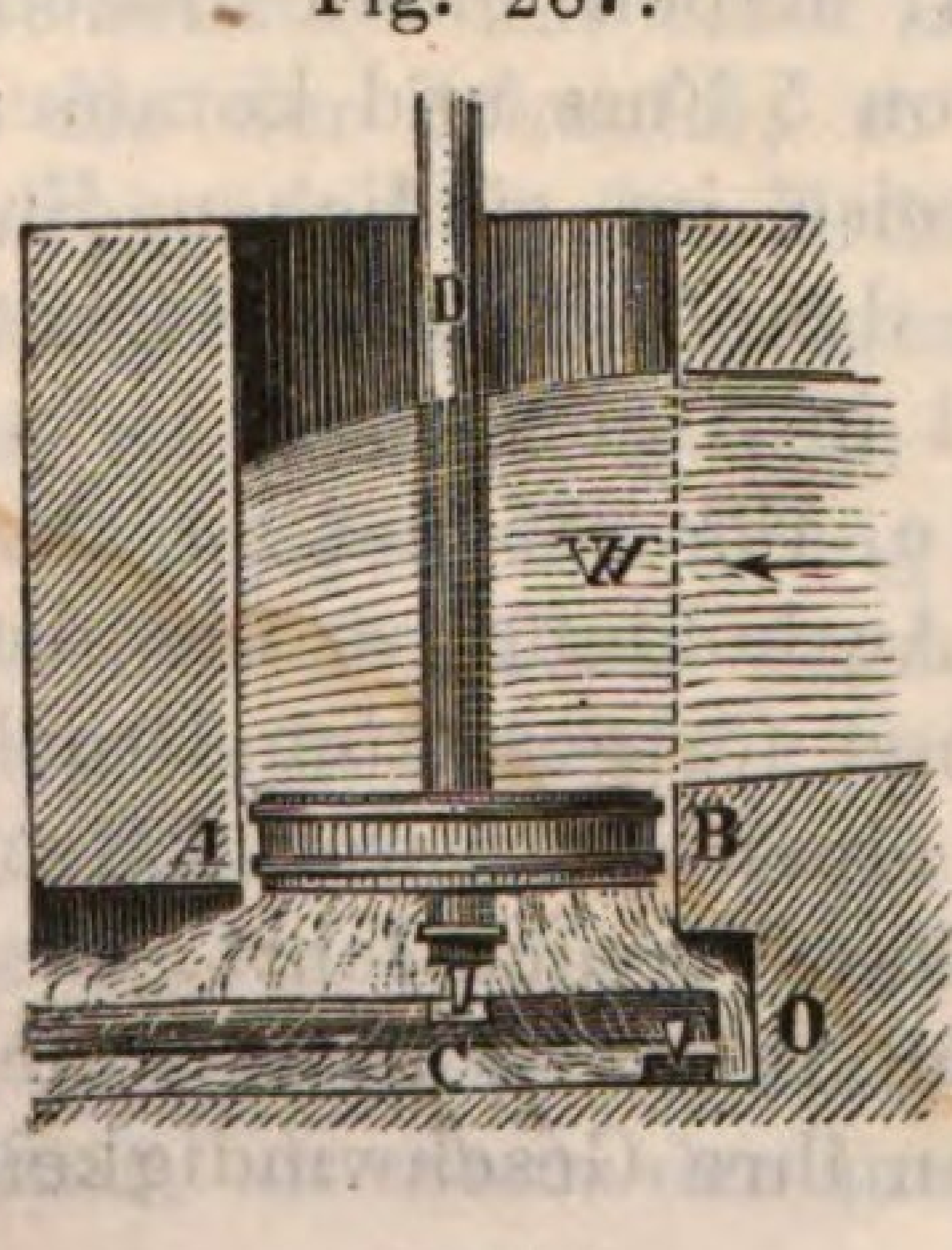
Fig. 286.



Die vorstehenden Räder sind in Gegenden, wo man nicht über ein grosses Wasserquantum, wohl aber über ein starkes Gefälle verfügen kann, ihrer grossen Einfachheit wegen zu empfehlen, besonders dann, wenn eine grosse Umdrehungszahl erfordert wird, wie bei Mahlmühlen, wo man bei Anwendung derselben jede weitere Transmission der Bewegung des Mühlrades auf den beweglichen Mühlstein entbehren kann, wenn man letzteren direct auf die verticale Welle des Rades aufsetzt.

189 **Das Kufenrad** ist den vorigen Stossrädern ähnlich, es unterscheidet sich aber von denselben dadurch, dass seine ebenfalls gekrümmten Schaufeln nicht frei liegen und den Stoss des Wasserstrahls nicht bloss in einem Punkte des Umfangs erhalten,

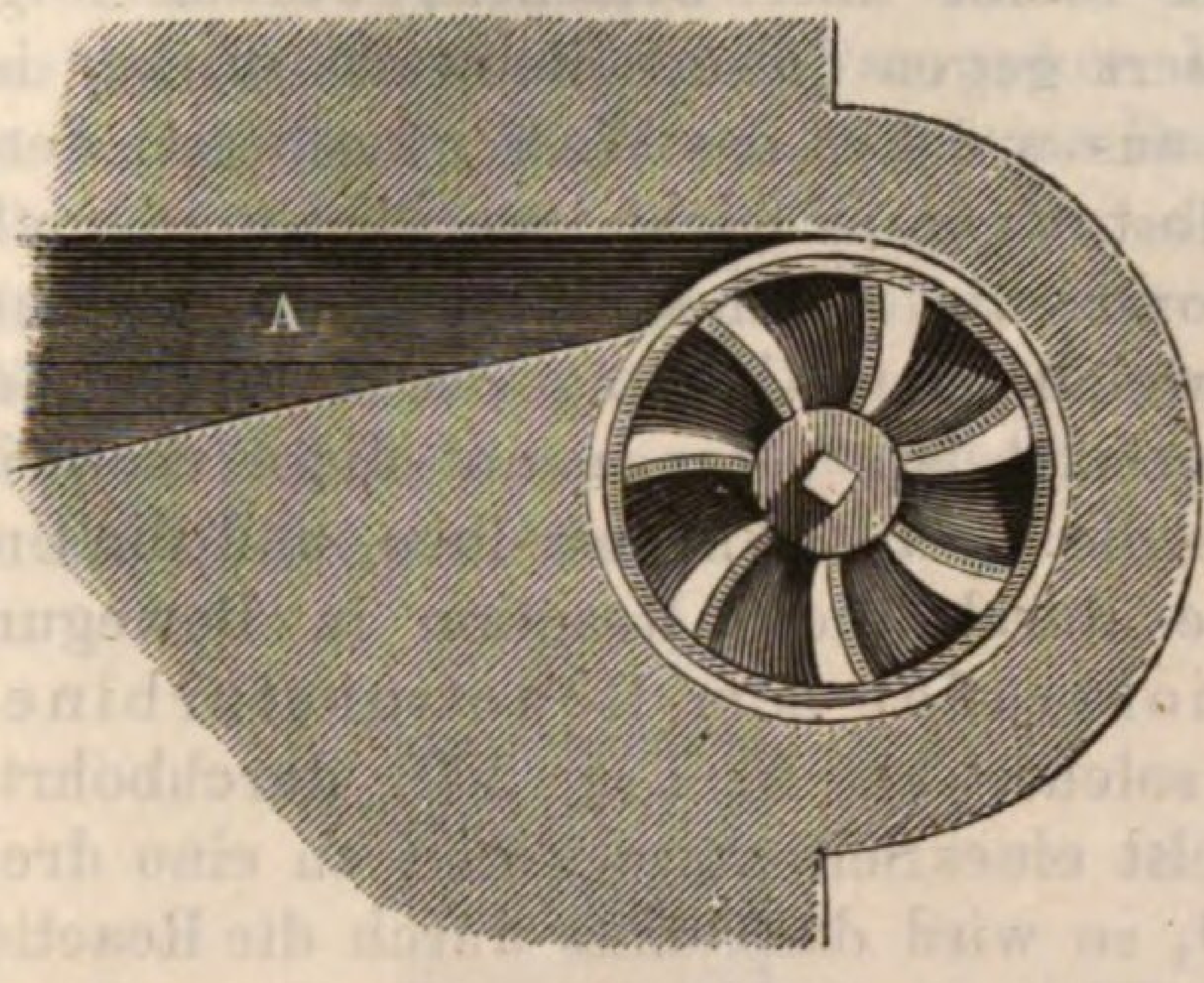
Fig. 287.



vielmehr, wie Fig. 287 zeigt, das ganze Rad AB sich in einem etwa 6 Fuss hohen Schachte AWB befindet, in welchem seine Welle CD mit ihrem Zapfen C auf einen um O drehbaren Hebel ruht. Durch Heben oder Senken dieses Hebels lässt sich der unmittelbar auf der verticalen Welle CD aufsitzende Mühlstein nach Belieben höher oder tiefer stellen. Das Wasser fliesst durch den Kanal A, Fig. 288, der anfänglich eine Breite von $2^1/_2$ Fuss,

bei der Einmündung in die Radstube aber von nur $^3/_4$ Fuss hat, mit einer grossen Geschwindigkeit in den Schacht ein, nimmt daselbst dem kreisförmigen Umfange desselben folgend, eine drehende Bewegung an, und wirkt nun stossend und drückend gegen die Schaufeln des Rades, wobei es durch die Zwischenräume zwischen den Schaufeln nach unten strömt und durch einen seitlichen Kanal abfliesst.

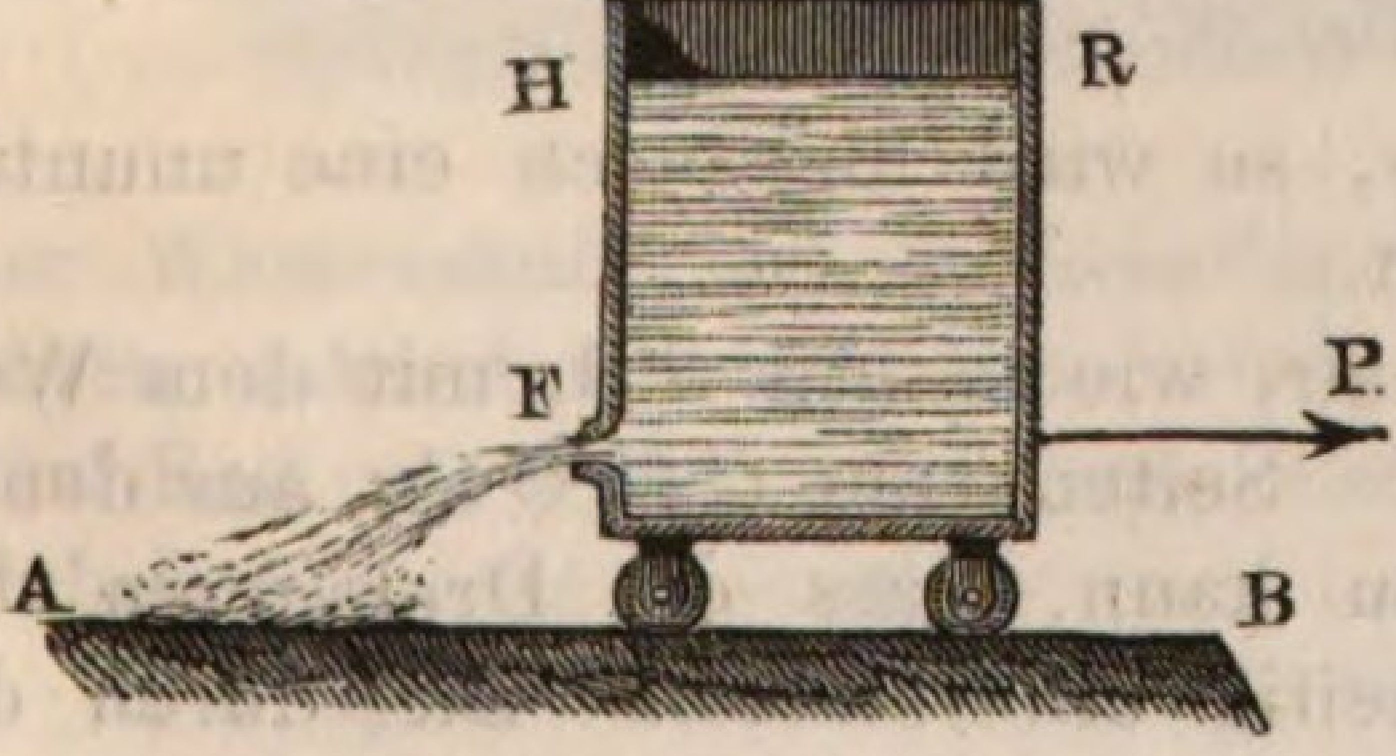
Fig. 288.



Da durch die Bewegung des Wassers in dem Radschachte eine starke Reibung erzeugt und eben hierdurch viel Arbeit verloren wird, ausserdem aber ein grosser Theil des Wassers durch die Zwischenräume zwischen den Schaufeln und namentlich zwischen der Rad- und der Schachtwand entweicht, ohne zur vollen Wirkung zu kommen, so ist auch der Wirkungsgrad der Kufenräder nur gering und beträgt nur 0,16 der Arbeit des verwendeten Wassers; selbst bei grösster Sorgfalt, die man auf die Construction derselben verwendet hat, konnte ihre Nutzleistung doch nicht über $^1/_4$ der von dem Aufschlagewasser gelieferten Arbeit gebracht werden. Man findet sie indessen noch häufig im südlichen Frankreich zum Betriebe der Mahlmühlen in Gegenden, wo man zwar über eine grosse Wassermenge, aber nur über ein schwaches Gefälle verfügen kann.

Das Princip der Reaction des Wassers. Wenn ein ge- 190
schlossenes Gefäss *HR*, Fig. 289, mit Wasser gefüllt ist, so bleibt dasselbe in Ruhe, weil jeder Druck des Wassers auf einen Punkt der einen Seitenwand durch einen gleich grossen Druck auf die in derselben horizontalen Ebene liegenden Punkte der entgegengesetzten Seitenwand aufge-

Fig. 289.



hoben wird. Macht man aber in der einen Seitenwand eine Oeffnung F, so kann das Wasser hier ausfliessen, und der Druck, den es früher an dieser Stelle gegen die Wand des Gefässes ausübte, ist aufgehoben. Der an der entgegengesetzten Stelle vorhandene Druck bleibt aber bestehen, woraus folgt, dass der Druck des Wassers gegen diese Seitenwand stärker ist, als gegen die Wand H, aus welcher das Wasser ausfliesst; demnach muss das Gefäss selbst, wenn es leicht beweglich und nicht durch Reibung oder sonst wie gehindert ist, sich in einer Richtung P bewegen, welche der Richtung des ausfliessenden Wassers FA entgegengesetzt ist. Man nennt diese rückwirkende Kraft des Wassers die Reaction desselben, und die Umtriebsmaschinen, welche durch diese Reaction in Bewegung gesetzt werden, Reactionsräder oder Reactionsturbinen.

Befestigt man ein solches bei F, Fig. 290, durchbohrtes Ausflussgefäss AB mittelst eines Seitenarmes EH an eine drehbare verticale Welle CD, so wird das Gefäss durch die Reaction des bei F ausfliessenden Wassers gegen die gegenüberstehende Wand in der Richtung des Pfeiles P um die Welle rundgedreht. Ersetzt man dabei das unten bei F abfliessende Wasser bestän-

Fig. 290.

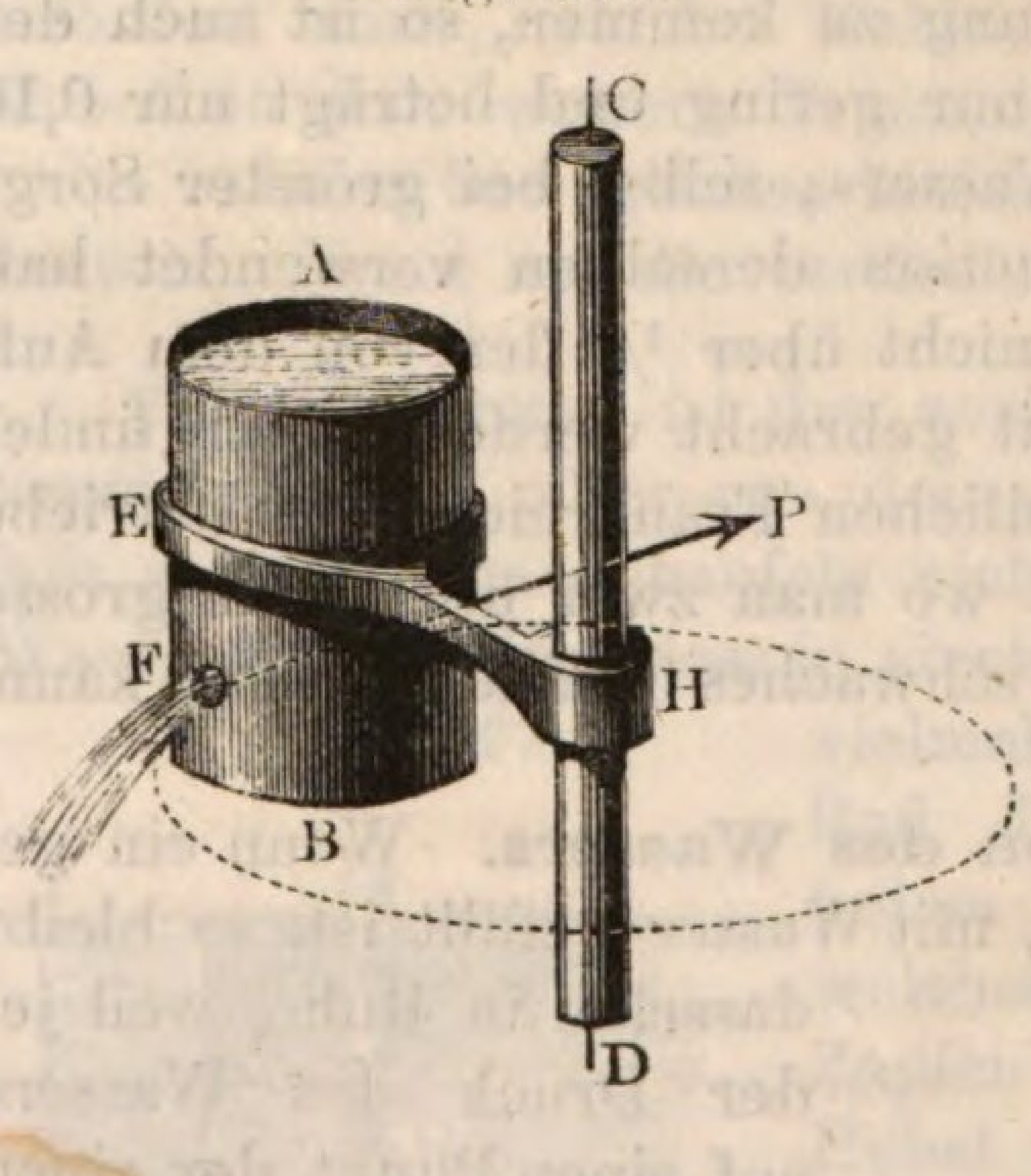
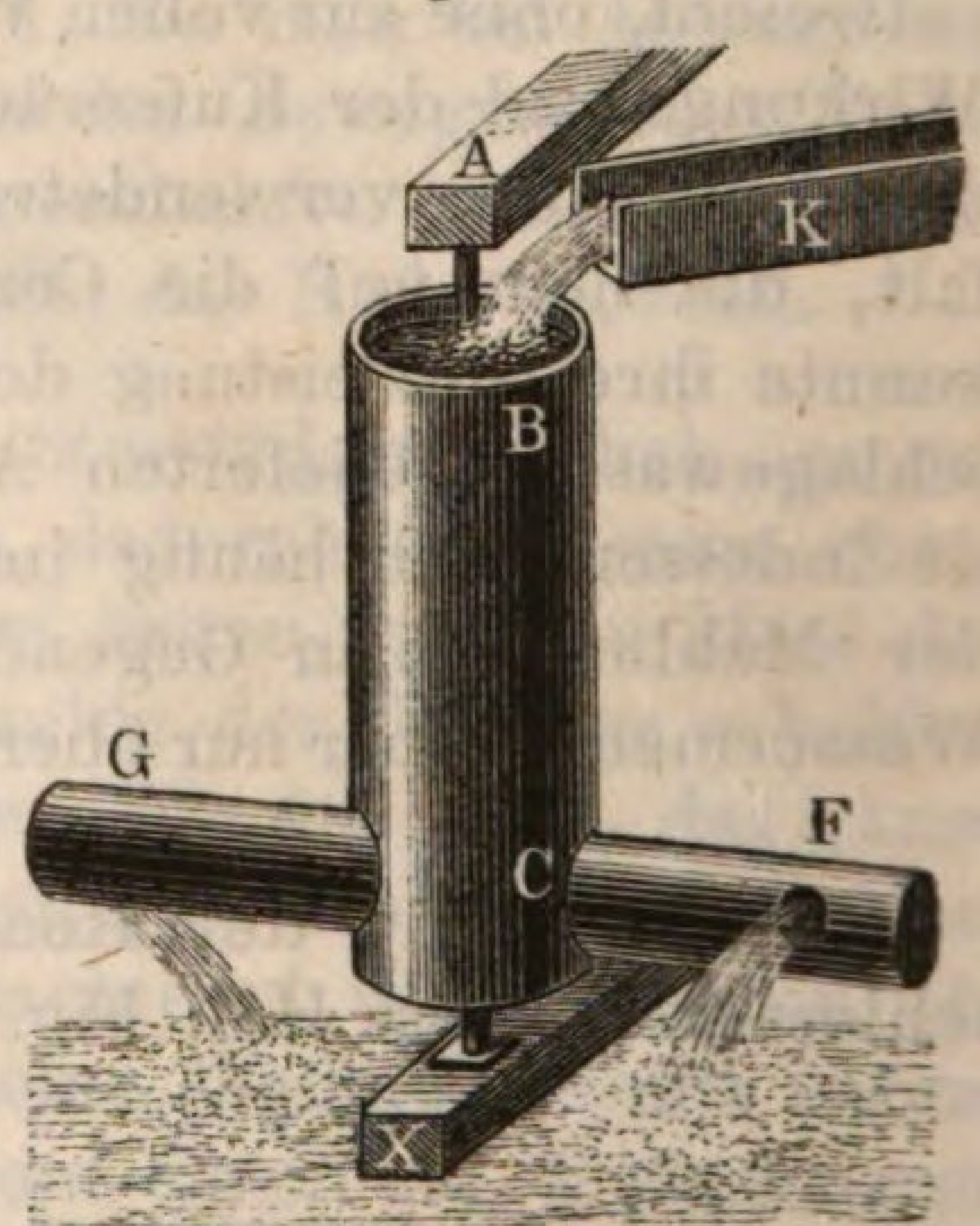


Fig. 291.



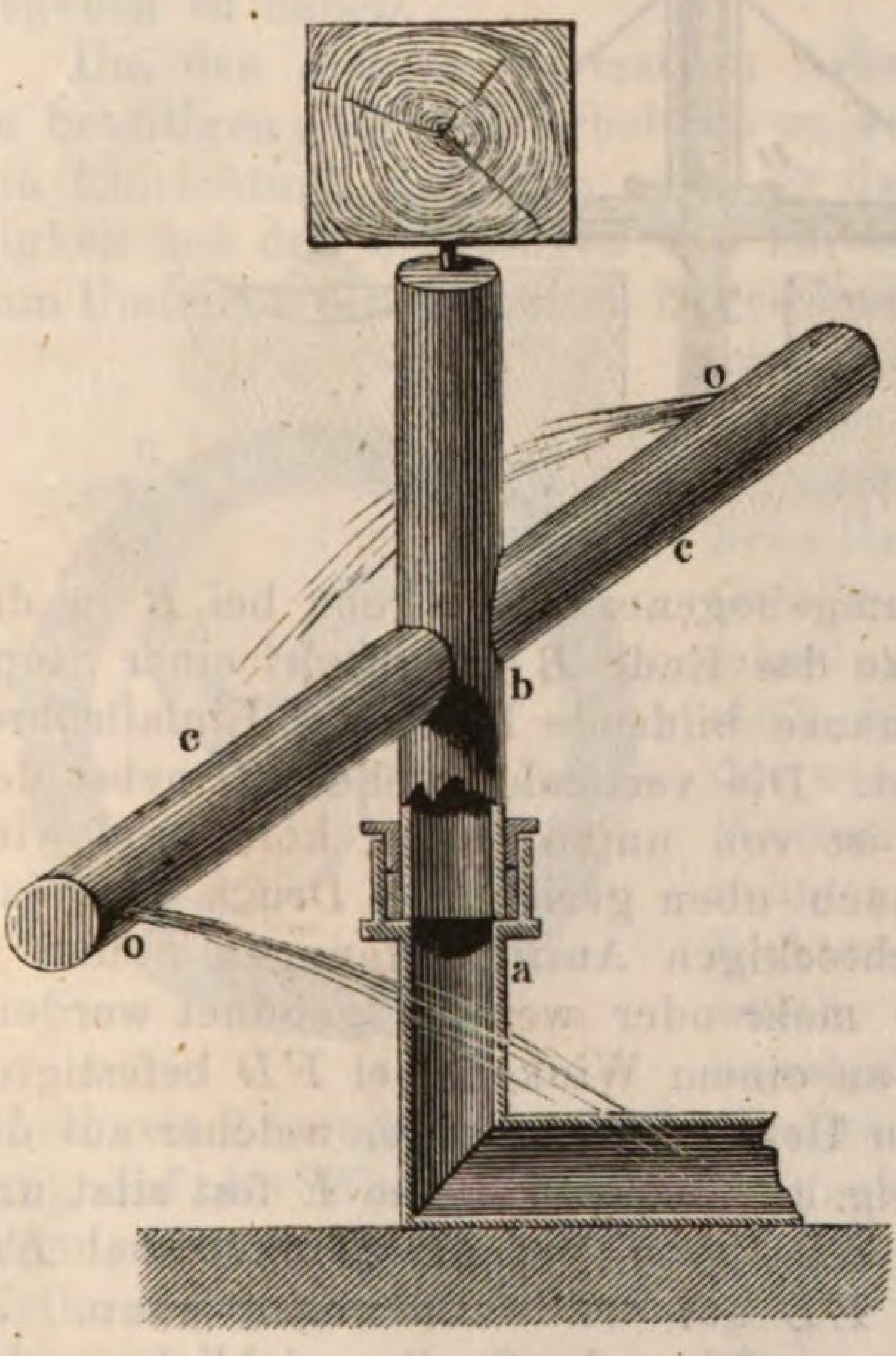
dig von oben durch anderes, so wird hierdurch eine ununterbrochene Umdrehung erzeugt.

Gewöhnlich verbindet man, wie in Fig. 291, mit dem Wasserbehälter BC 2, 3, 4 . . . Seitenarme CF, CG, aus denen das Wasser derart ausfliessen kann, dass die Drehungen der einzelnen Arme sich gegenseitig unterstützen. Das durch die

Mündungen F, G ausfliessende Wasser wird durch anderes fortwährend ersetzt, welches durch ein Gerinne K oben in das verticale Rohr BC eingeführt wird.

Das Reactionsrad in seiner einfachsten Gestalt haben wir bereits im vorigen Paragraphen beschrieben; es hat den unverkennbaren Nachtheil, dass das Rad das ganze Gewicht des Wassers zu tragen, und daher der untere Zapfen der Welle einen sehr bedeutenden Reibungswiderstand zu überwinden hat. Diesem Uebelstande wird dadurch abgeholfen, dass man das Wasser nicht von oben, sondern von unten in die horizontalen Arme einströmen lässt, wie es aus der Fig. 292 zu ersehen ist. 191

Fig. 292.



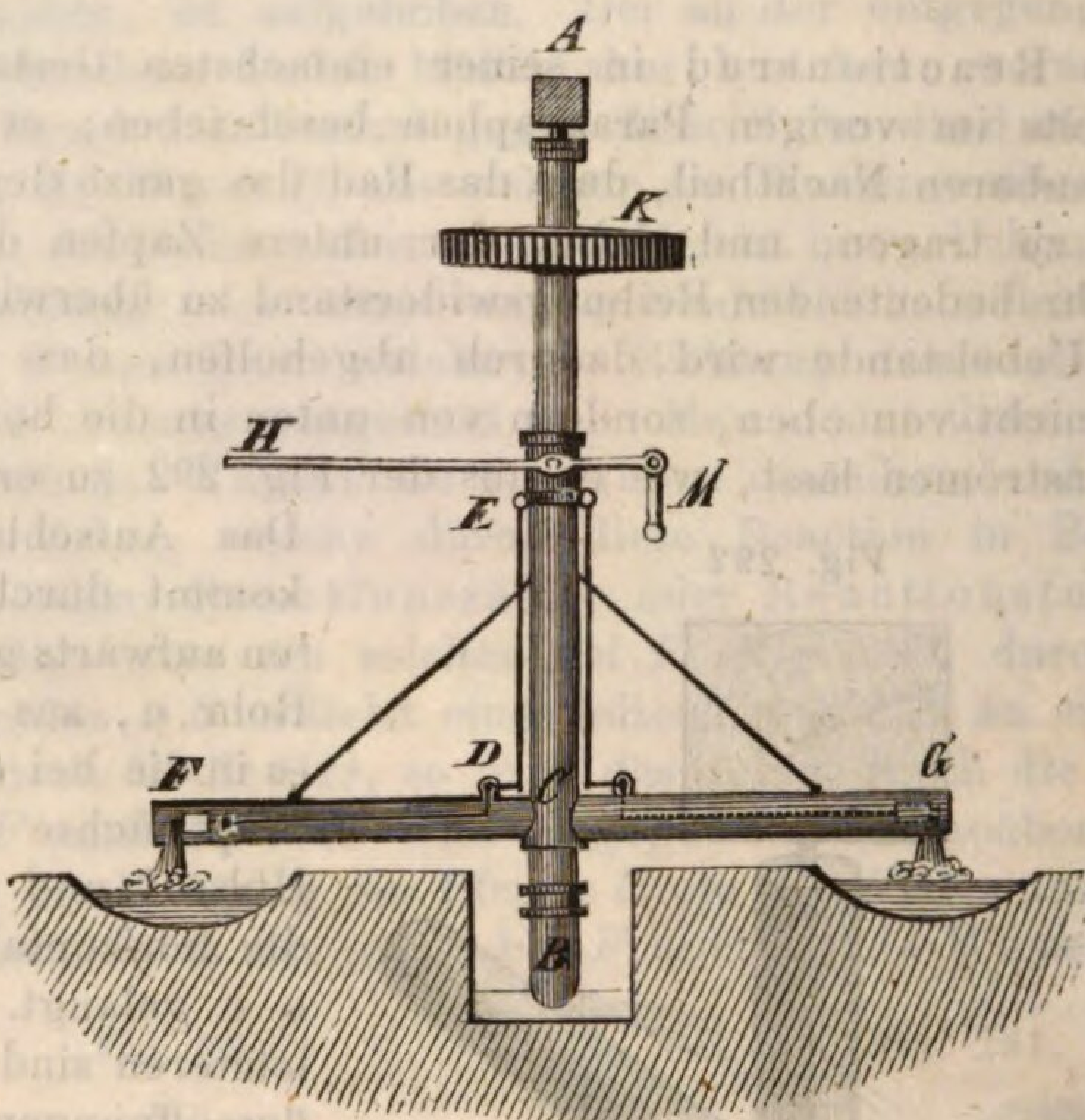
Das Aufschlagewasser kommt durch ein unten aufwärts gebogenes Rohr a, aus welchem es in die bei a in einer Stopfbüchse drehbare Hülse b und von da in die horizontalen Arme c, c gelangt. In den letzteren sind die Ausflussöffnungen o, o angebracht, aus denen das Wasser ausströmt; das Rad dreht sich während des Ausfliessens in einer den Wasserstrahlen entgegengesetzten Richtung.

Da bei dieser Einrichtung nicht bloss das Gewicht des Aufschlagewassers, sondern auch das Gewicht des Rades und der Welle durch den Druck der Wassersäule fast vollständig getragen und letzteres so zu sagen schwebend erhalten wird, so ist die Reibung, welche das Rad zu überwinden hat, und daher auch der Verlust an Arbeit äusserst gering.

Die speciellere Einrichtung eines nach diesem Princip von

Althans in Vallendar bei Ehrenbreitstein ausgeführten Reactionsrades ist aus der Figur 293 zu ersehen. Das Wasser ge-

Fig. 293.



langt durch ein unten umgebogenes Einfallrohr bei *B* in das Rad, zu welchem Zwecke das Ende *B* vermittelst einer Stopfbüchse in das eine Schnauze bildende Ende des Einfallrohres wasserdicht eingefügt ist. Die verticale Welle *AC* nebst den Seitenröhren *CF*, *CG* ist von unten herauf hohl, und wird durch den von unten nach oben gerichteten Druck des Wassers getragen. Die rechteckigen Ausflussöffnungen *F* und *G* können durch Schieber mehr oder weniger geöffnet werden; die Handhabung dieser an einem Winkelhebel *FD* befestigten Schieber wird durch den Hebel *HM* besorgt, welcher auf der die Welle *AB* ringförmig umfassenden Hülse *E* fest sitzt und diese nebst den daran befestigten, auf die Winkelhebel *FD* wirkenden Zugstangen *ED* auf- und abbewegen kann. Je nachdem die das Wasser zuführende Quelle reichlicher oder weniger reichlich Wasser liefert, werden die Ausflussöffnungen grösser oder kleiner gemacht.

Das Althans'sche Rad hat einen Durchmesser von 24 Fuss und macht bei einer Druckhöhe des Wassers von 96 Fuss und einer Weite der Röhrenleitung von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuss, wenn es

leer läuft, 90 bis 120, wenn dagegen das Werk der Lohmühle, die es treibt, eingesetzt ist, nur 30 bis 40 Umdrehungen in der Minute. Das Aufschlagequantum Wasser beträgt in dieser Zeit nur 18 bis 20 Kubikfuss.

Obgleich die Leistung dieses Rades in Bezug auf den geringen Wasserverbrauch ausserordentlich günstig erscheint, so ist doch nicht zu übersehen, dass, wie bei dem unterschlägigen Wasserrade, doch ein grosser Theil der vorhandenen Wasserkraft dadurch nutzlos verloren geht, dass das Wasser um einen bedeutenden Druck gegen die Wand der Seitenarme ausüben zu können, mit einer sehr grossen Geschwindigkeit aus den Ausflussöffnungen ausströmen und also das Rad verlassen muss, ohne seine ganze Geschwindigkeit an dasselbe abgegeben zu haben.

Um den grossen Verlust an Arbeit, der hieraus entsteht, zu beseitigen oder doch erheblich zu vermindern, hat Althans die Einrichtung getroffen, dass er das mit grosser Geschwindigkeit aus den Oeffnungen der Turbine ausströmende Wasser zum Umtriebe eines zweiten Rades benutzt. Die Fig. 294 zeigt eine solche Einrichtung; AEA ist das gewöhnliche, mit vier gebogenen Seitenröhren versehene Reactionsrad von 120 Fuss Gefälle, BB ein grösseres Schaufelrad, dessen Schaufeln so gestellt sind, dass sie den Stoss des aus der Turbine strömenden Wassers fast rechtwinklig aufnehmen und dadurch in einer Richtung angetrieben werden, welche der Drehung des Reactionsrades entgegengesetzt ist. Durch ein besonderes Räderwerk wirkt das zweite Rad B derartig auf die Welle des Reactionsrades A ein, dass die entgegengesetzten Drehungen beider Räder sich zur Drehung der Welle E gegenseitig unterstützen.

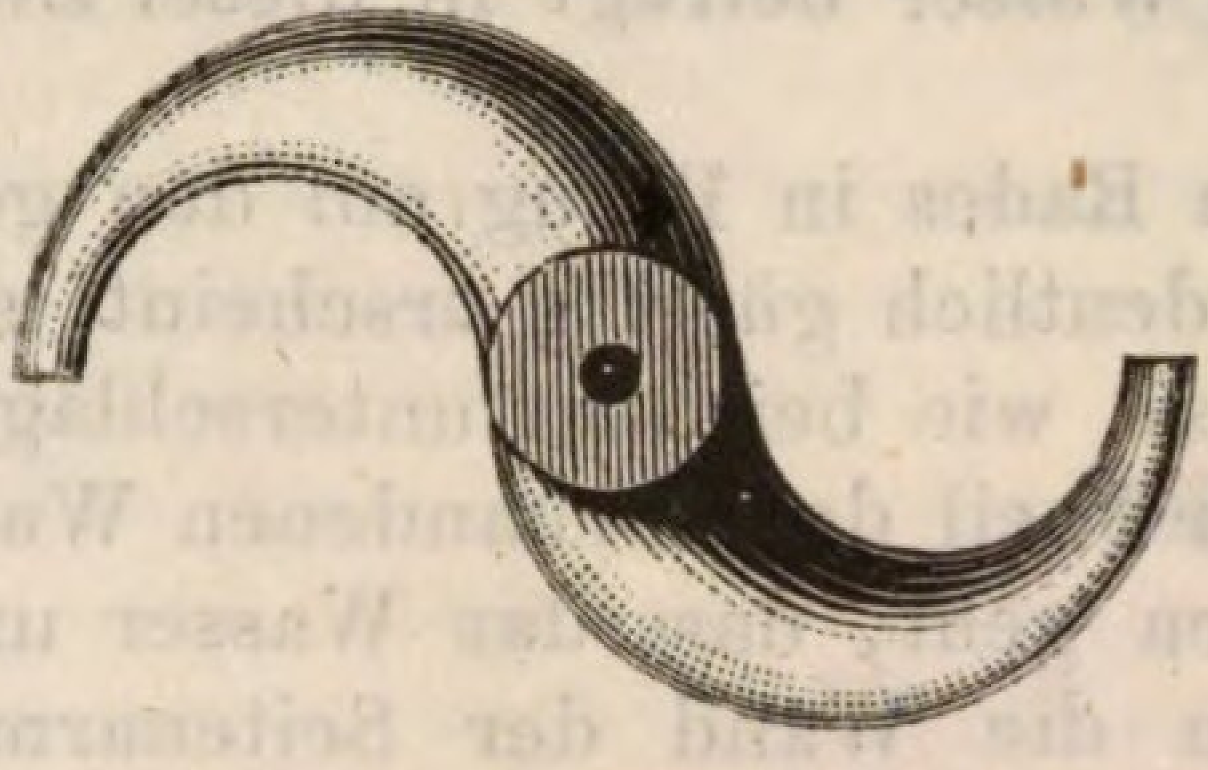
Fig. 294.



Die Whitelaw oder schottische Turbine leidet an dem 192
genannten Uebelstande des vorigen Reactionsrades weit weniger, da ihre Ausflussarme eine gekrümmte Gestalt, Fig. 295 (a. f. S.), haben; es wird dadurch erreicht, dass das von unten in die Arme einströmende Wasser gegen die gekrümmten

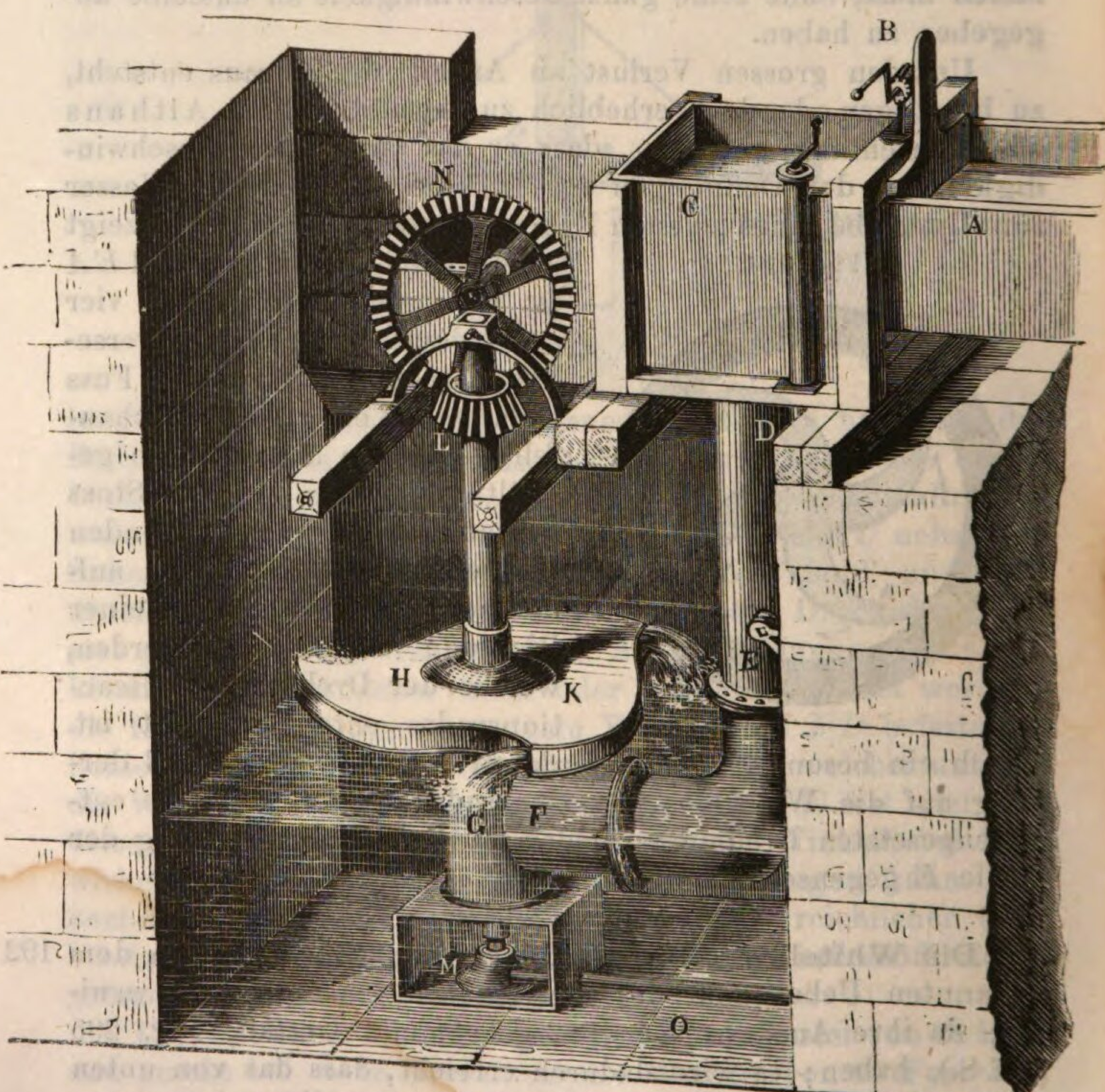
Wände drückt, seine Geschwindigkeit an diese nach und nach abtritt und so fast ohne Geschwindigkeit aus dem Rade in das Unterwasser abfliesst.

Fig. 295.



Reactionsräder dieser Art sind in Schottland sehr verbreitet, und werden deshalb auch schottische Turbinen genannt. Ihre innere Einrichtung ist aus der Fig. 296 zu ersehen. Das Aufschlagewasser wird aus dem Gerinne *A* durch das mittelst

Fig. 296.



der Schraube *B* verstellbare Schutzbrett in das Einfallreservoir *C* und von diesem durch das Einfallrohr *DEF* in den feststehenden Cylinder *G* geleitet. Auf diesem Cylinder steckt das mit drei Ausflussöffnungen versehene, auf der verticalen Welle *LM* befestigte Rad *HK*, welches seine Drehung vermittelst der beiden conischen Räder *LN* auf die Umtriebswelle derjenigen Maschine überträgt, die durch das Reactionsrad in Bewegung gesetzt werden soll. Der Druck des Wassers kann durch die Drehklappe *E* regulirt werden; das zum Schmieren des unteren Zapfens erforderliche Oel wird demselben durch ein bis über den Wasserspiegel im Einfallkasten emporragendes Rohr *O* zugeführt.

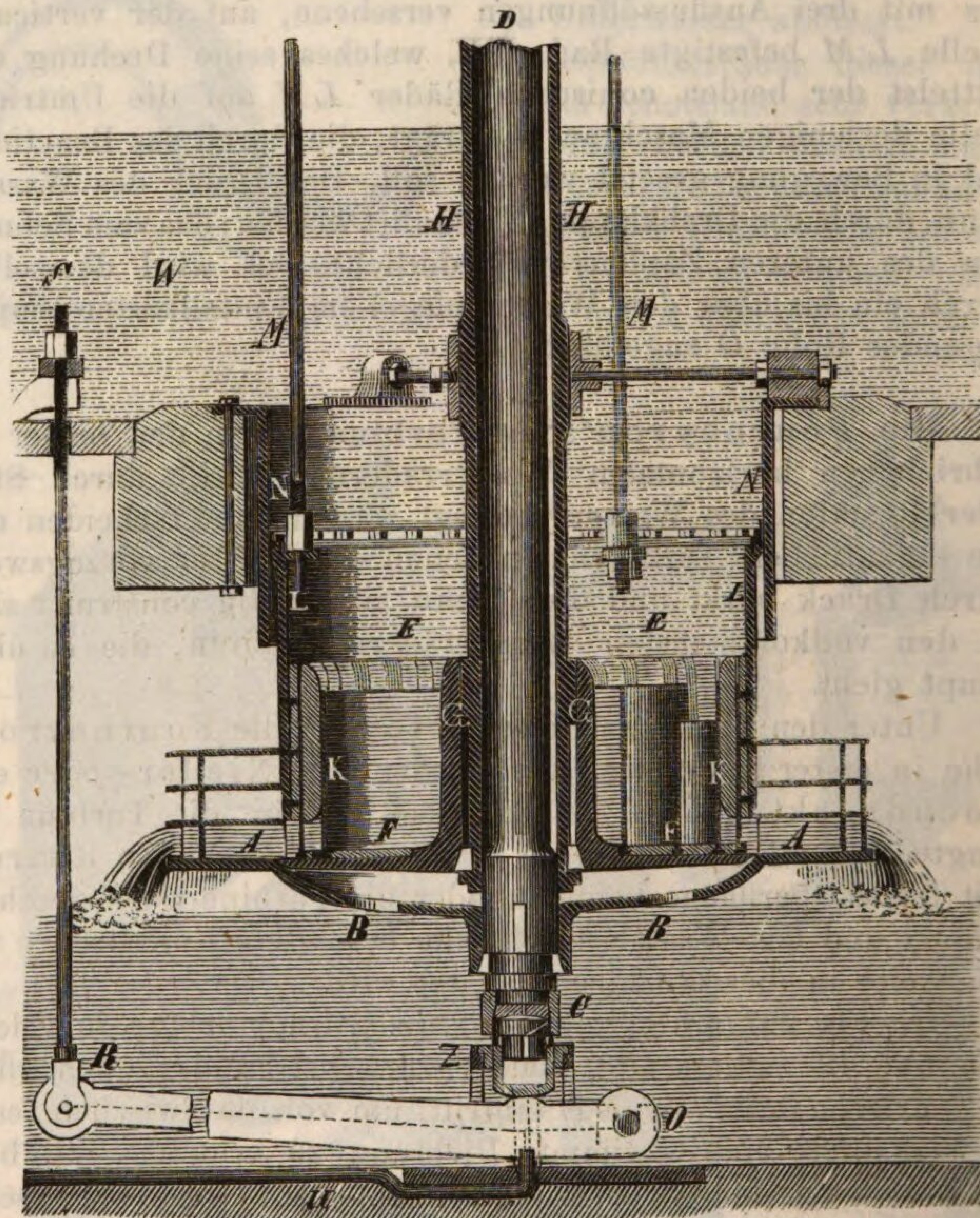
Die Fourneyron'sche Turbine. Von den bisher be- 195
schriebenen horizontalen Wasserrädern, welche durch Stoss oder Reaction des Wassers bewegt werden, unterscheiden sich die eigentlichen Turbinen, in denen das Wasser vorzugsweise durch Druck wirkt und die, wenn sie richtig construirt sind, zu den vollkommensten Wasserrädern gehören, die es überhaupt giebt.

Unter den Turbinen dieser Art steht die Fourneyron'sche in erster Linie; sie ist entweder eine Nieder- oder eine Hochdruckturbine, je nachdem das in die Turbine gelangte Aufschlagewasser sich in einem oben offenen Reservoir mit freier Oberfläche befindet, oder die Turbine oben geschlossen ist und das Wasser durch eine besondere Einfallröhre von der Seite in dieselbe hineingeleitet wird.

Die Fig. 297 (a. f. S.) zeigt eine Niederdruckturbine, in welcher das bei *W* zufliessende Wasser zunächst in das oben offene cylindrische Reservoir *EE* eintritt, um von da zwischen festen Leitschaufeln eine bestimmte Richtung zu erhalten und beim Austreten aus denselben in das ebenfalls mit Schaufeln besetzte eigentliche Rad *AA* zu gelangen. Letzteres besteht aus zwei horizontalen Kränzen von Eisen, die von einem gusseisernen Teller *BB* und einer vertical stehenden Welle *CD* getragen werden. Damit das Gewicht des Aufschlagewassers das umlaufende Rad *ABBA* nicht belaste, wird die Radwelle *CD* mit einer festen Röhre *GH* umgeben, welche dieselbe vollkommen umschliesst und unten in einen flachen Bodenteller *FF* ausläuft. Letzterer ist mit Leitschaufeln aus gebogenem Bleche versehen, und nimmt den Druck des von oben in die cylindrische Kammer *EE* einfallenden Wassers auf. Indem

das Wasser zwischen diesen festen Leitschaufeln seine verticale Richtung in eine horizontale und zwar den Krümmungen

Fig. 297.

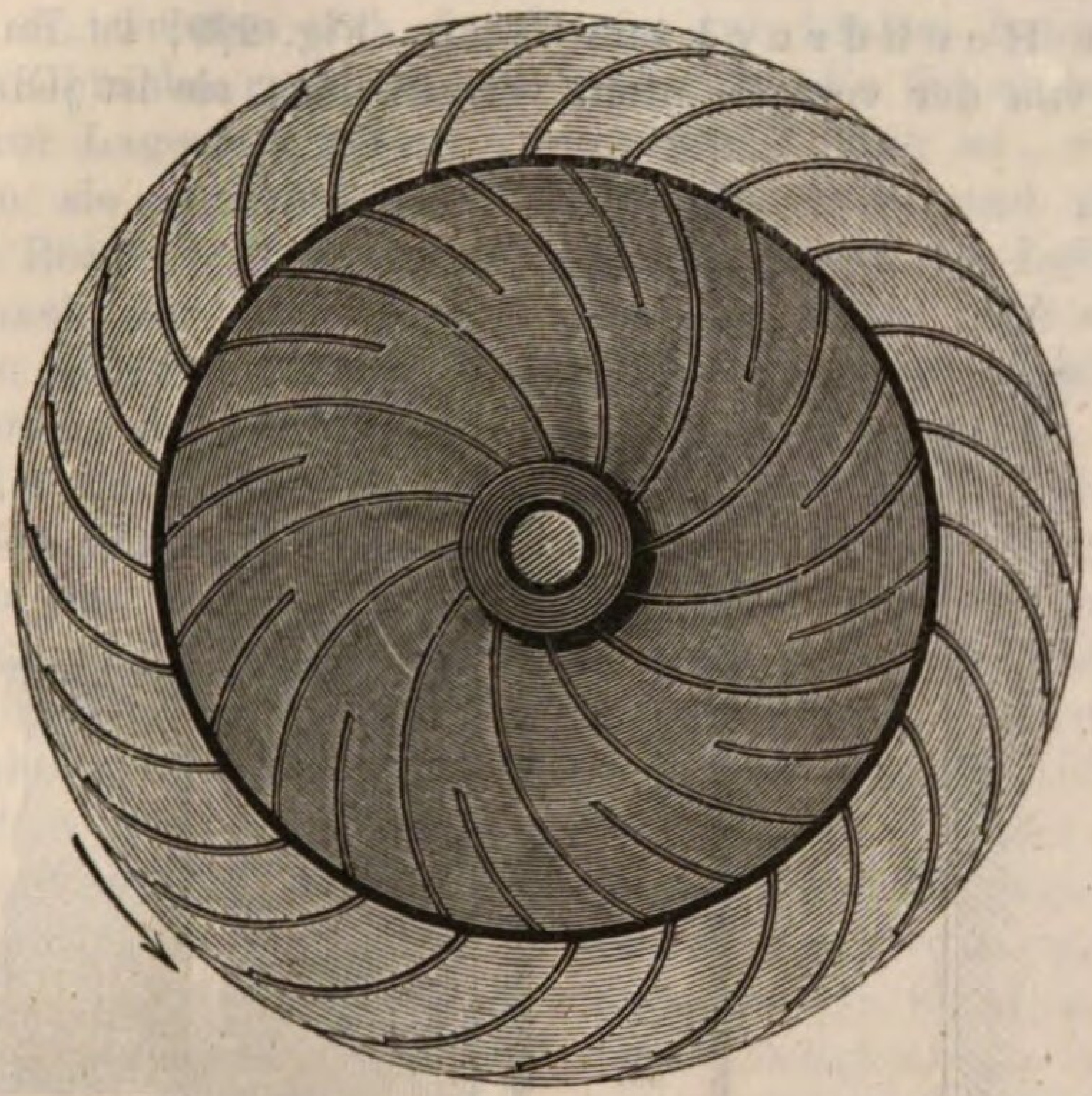


der Schaufeln folgende Richtung umändert und dann nach aussen ausströmt, trifft es beinahe in senkrechter Richtung auf die zwischen den Radkränzen *A A* eingesetzten Radschaufeln und treibt dieselben durch den andauernden Druck, den es bei seinem Vorbeigleiten über ihre hohlen Flächen ausübt, in der entgegengesetzten Richtung seiner eigenen Bewegung rund.

Die Fig. 298 zeigt sowohl die feststehenden Leitschaufeln, als auch die Radschaufeln; die inneren Bogen bilden die Leit-

schaufeln, zwischen denen das Wasser ausströmt, die äusseren sind die Radschaufeln, welche von dem aus den Leitschaufeln

Fig. 298.



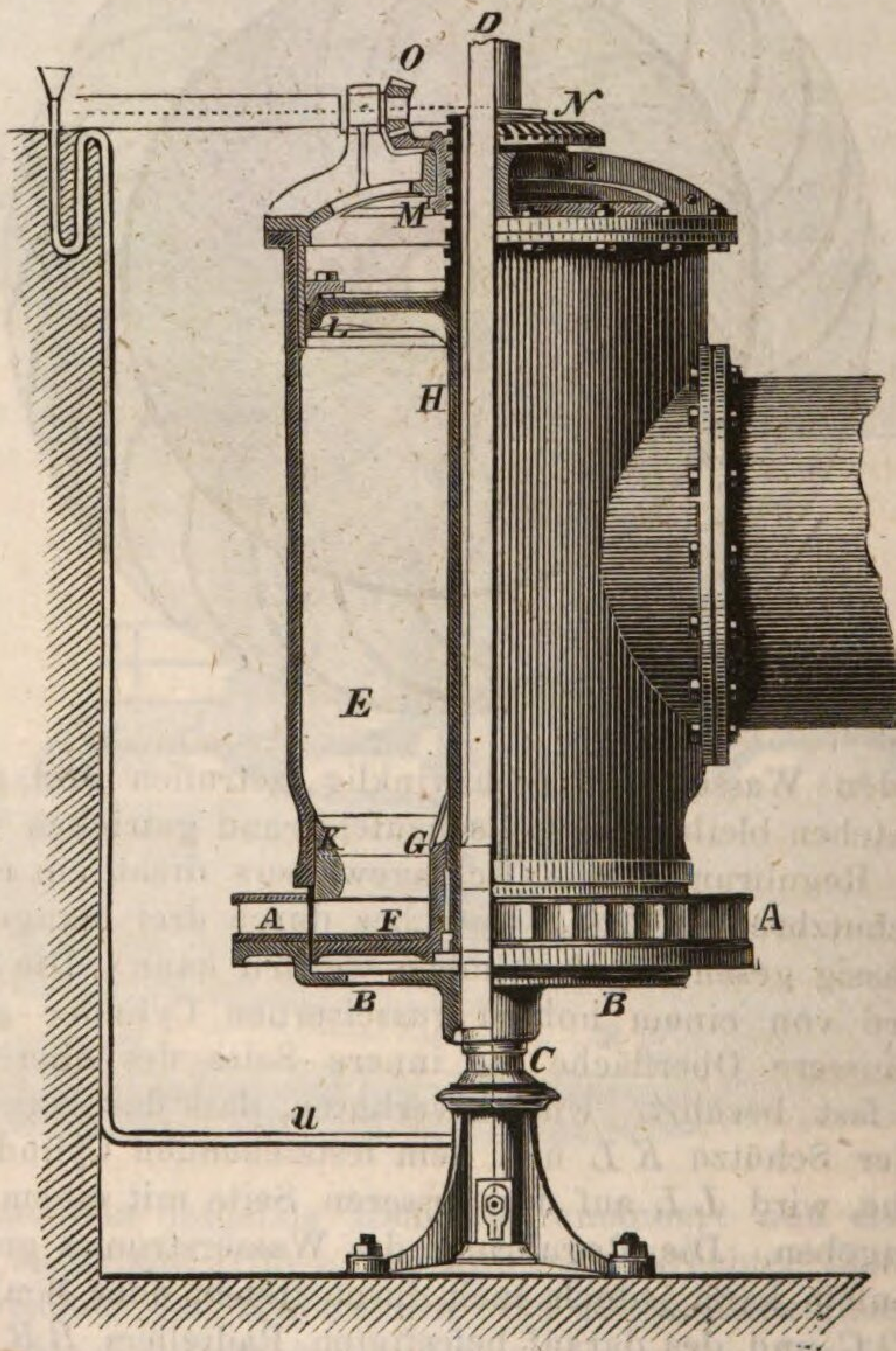
strömenden Wasser fast rechtwinklig getroffen und dadurch um die stehen bleibenden Leitschaufeln rund getrieben werden.

Zur Regulirung des Aufschlagewassers dient ein cylindrisches Schutzbrett *KLLK*, welches durch drei Stangen *MM* gleichmässig gesenkt und gehoben werden kann. Die Schütze *KL* wird von einem hohlen gusseisernen Cylinder gebildet, dessen äussere Oberfläche die innere Seite des oberen Radkranzes fast berührt. Um zu verhüten, dass das Wasser zwischen der Schütze *KL* und dem feststehenden Cylinder *NN* entweiche, wird *LL* auf der äusseren Seite mit einem Lederstulp umgeben. Die Regulirung des Wasserstromes gegen die Radschaufeln kann jedoch auch durch Heben oder Senken der Welle *DC* und des darauf befestigten Radtellers *BB* geschehen; zu diesem Zwecke ruht das Zapfenlager *Z* für die Welle *CD* auf einem um *O* drehbaren Hebel, welcher durch die Zugstange *SR* gehoben oder gesenkt werden kann. Je nachdem durch den Mechanismus des Hebels der Radteller *BB* höher oder tiefer gestellt wird, treten die Radschaufeln *AA* mit einer

grösseren oder kleineren Fläche dem aus den Leitschaufeln strömenden Wasser entgegen, so dass das Rad bei gehobenem Hebel den vollen Wasserdruck, bei tiefer gestelltem Hebel aber nur einen Theil desselben aufnimmt.

Die Hochdruckturbine, Fig. 299, ist im Wesentlichen von der vorigen nicht verschieden; sie ist jedoch oben

Fig. 299.



geschlossen und empfängt das Aufschlagewasser durch ein Seitenrohr. In der Figur, in welcher die eine Hälfte des Mantels weggelassen ist, bezeichnen die gleichen Buchstaben dieselben Theile, wie in der Figur 297; die Vorrichtung zum Reguliren des Ausflusses ist jedoch hier anders eingerichtet. Es

läuft nämlich die Umhüllungsröhre *GH* oben schraubenförmig aus und ist daselbst von dem übrigen Theile der Turbine durch einen mit einem Lederstulp versehenen Teller *NL* vollständig abgedichtet. Die Schraubenmutter *M* erhält ein conisches Zahnrad *N*, welches sich durch ein zur Linken befindliches conisches Getriebe rund drehen lässt. Da die Schraube *M* in Folge ihrer Lagerung keiner Verschiebung fähig ist, so muss sie, wenn sie vermittelst der Zahnräder *ON* rund gedreht wird, die Röhre *GH* sammt dem Teller *F* und den Leitschaufeln je nach der Richtung der Drehung heben oder senken. Durch die Röhre *u* wird hier, wie in der vorigen Turbine, zur Verminderung der Reibung Oel an den Zapfen geleitet.

Da die Radschaufeln beinahe senkrecht zu der Richtung des aus den Leitschaufeln strömenden Wassers stehen, so scheint es, als ob das Wasser einen Stoss gegen dieselben ausüben müsse. Es ist dieses allerdings der Fall, wenn das Rad stille steht, keineswegs aber, wenn es mit einer angemessenen Geschwindigkeit rund läuft. In Folge der Drehung weichen die Radschaufeln vor dem anströmenden Wasser aus und sie erhalten die Einwirkung des Wassers nur nach Maassgabe der relativen Geschwindigkeit, welche das Wasser besitzt in Bezug auf die des Rades. Da nun die Radschaufeln derartig angebracht werden, dass diese relative Geschwindigkeit des Wassers für den Fall, dass die Turbine ihre gewöhnliche Bewegung angenommen hat, nach der Tangente gerichtet ist, welche jede Schaufel an ihrem inneren Ende berührt, so kann das Wasser bei seinem Eintritt in das Rad auch keinen Stoss gegen die Schaufeln ausüben. Es übt nur, indem es an den gekrümmten Schaufeln von innen nach aussen vorbeigleitet, auf jeden Punkt der Schaufeln einen Druck aus, weil seine Geschwindigkeit in jedem dieser Punkte ihre Richtung ändert. Bei seinem Austreten aus dem Rade hat das Wasser eine relative Geschwindigkeit, welche der Bewegung der Schaufeln entgegengesetzt ist, und man kann offenbar die Geschwindigkeit der letzteren so reguliren, dass ihre äussere Umfangsgeschwindigkeit der relativen Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers genau gleich ist. Wenn diese Bedingung zutrifft, hat das Wasser bei seinem Austreten aus dem Rade nur noch eine unmerkliche Geschwindigkeit, und gelangt so zu sagen ohne Geschwindigkeit in das Unterwasser. Wenn, was häufig vorkommt, das Rad im Unterwasser steht, so mengt sich dann das aus den Radschaufeln austretende Wasser fast unmerklich

mit dem Unterwasser, indem es von den Schaufeln ohne Geschwindigkeit an das umgebende Wasser abgegeben wird, ohne dieses mit sich fortzureissen.

Man sieht hieraus, dass eine richtig construirte Fourneyron'sche Turbine ebenso gut wie das Ponceletrad den in §. 181 angeführten allgemeinen Anforderungen, die an die hydraulischen Umtriebsmaschinen gestellt werden müssen, entspricht. Es hat aber vor jenem noch den entschiedenen Vortheil voraus, dass das Wasser stets in derselben Richtung von innen nach aussen an den Schaufeln vorbeigleitet. Bei dem Ponceletrade nämlich steigt das auf die Schaufeln einströmende Wasser zuerst auf der hohlen Seite in die Höhe und fällt dann auf demselben Wege wieder herab, um da auszutreten, wo es eingetreten ist. Da nun die einzelnen Theile des Wassers, das in einer Schaufel vorhanden ist, nicht genau zu einer und derselben Zeit in die Schaufel eintreten, so müssen sie sich sowohl bei der auf- als bei der absteigenden Bewegung gegenseitig hindern. In der Fourneyron'schen Turbine hingegen folgen sich die Wassermassen, welche nacheinander auf eine und dieselbe Schaufel wirken, ohne einander zu stören, weil sie sich ja stets in einer und derselben Richtung bewegen.

Hierzu kommt noch, dass das Wasser auf alle Schaufeln der Turbine gleichzeitig wirkt und daher die gegen dieselben ausgeübten horizontalen Pressungen kein Bestreben haben, die Achse des Rades auf die eine oder andere Seite zu ziehen. Der Druck des Wassers gegen die Schaufeln ist daher auch ohne Einfluss auf die Reibung derjenigen Theile, welche dazu dienen, die Radwelle in verticaler Richtung zu erhalten. Hiernach ist nun leicht begreiflich, dass die Fourneyron'sche Turbine weit bessere Resultate giebt als ein Ponceletrad; die Versuche haben in Uebereinstimmung hiermit wirklich ergeben, dass die genannte Turbine 0,75 bis 0,80 der gesammten Arbeit nutzbar verwendet, welche von dem Aufschlagewasser geleistet wird.

Die Fourneyron'sche Turbine hat aber noch andere Vortheile von nicht geringerer Bedeutung als die genannten. Sie kann nämlich, wie wir bereits angedeutet haben, recht gut im Unterwasser selbst stehen, ohne dass die Umdrehung des Rades dadurch behindert würde, und dieses hat drei Vortheile im Gefolge. Erstens kann die Maschine ununterbrochen sowohl bei Hochwasser, als bei niedrigem Wasserstande arbeiten, ohne dass man nöthig hätte, um die grössere oder geringere Höhe

des Unterwassers besorgt zu sein. Zweitens kann man die ganze Höhe des Gefälles nutzbar verwenden, was nicht geschehen kann, wenn man das Rad über das Niveau des Unterwassers aufstellt, und drittens wirkt die Maschine selbst bei starker Frostkälte, da das fliessende Wasser nur in einer geringen Dicke an der Oberfläche zu gefrieren pflegt.

Ein weiterer Vortheil, den die Fourneyron'sche Turbine darbietet, und der sich durch zahlreiche Versuche bestätigt hat, besteht darin, dass man die Geschwindigkeit der Umdrehung zu beiden Seiten derjenigen mittleren Geschwindigkeit, bei welcher sie den grössten Nutzeffect liefert, in ziemlich weiten Gränzen abändern kann, ohne das Verhältniss ihres Nutzeffectes zu der Totalleistung des verwandten Wassers erheblich zu verkleinern. Es ist dieses von grosser Wichtigkeit für den Fall, wo eine Turbine stets mit derselben Geschwindigkeit arbeiten soll und doch das Gefälle des Wassers veränderlich ist. Die Geschwindigkeit einer Turbine, welche ihrem grössten Nutzeffecte entspricht, ist nämlich von der Höhe des Gefälles abhängig; sie wächst und nimmt ab mit dieser Höhe. Wenn daher eine Turbine stets mit gleicher Geschwindigkeit arbeitet, so hat sie offenbar nicht immer diejenige Geschwindigkeit, bei welcher ihr Nutzeffect am grössten ist; es ist daher von grosser Wichtigkeit, wenn, wie es bei der Fourneyron'schen Turbine erfahrungsmässig der Fall ist, ein Wasserrad auch mit einer von der vortheilhaftesten mittleren abweichenden Geschwindigkeit arbeiten kann, ohne ein Merkliches von dem Maximum ihrer Leistungsfähigkeit einzubüssen.

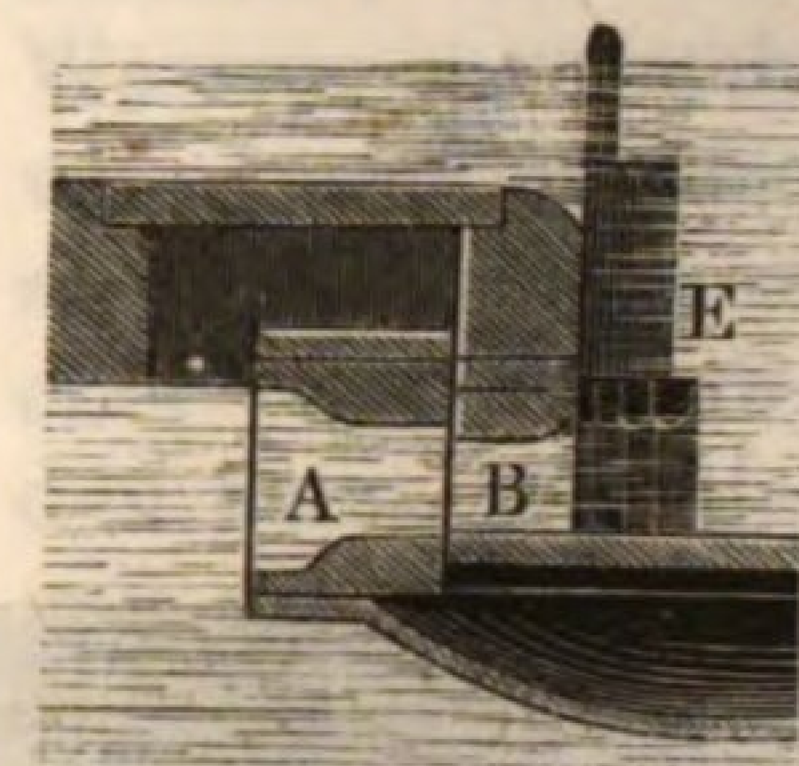
Die Fourneyron'sche Turbine lässt sich endlich für jedes Gefälle einrichten, worüber wir nur zwei Beispiele hier anführen wollen. In St. Blaise befindet sich eine solche Turbine, welche ein Gefälle von ungefähr 335 Fuss hat und bei einem Durchmesser von etwa $20\frac{1}{2}$ Zoll 2300 Umdrehungen in der Minute macht; sie ist 40 Pferdekräfte stark, und macht $\frac{3}{4}$ der gesammten Wasserkraft nutzbar. Andererseits hat sich bei den Versuchen mit einer in Gisors aufgestellten Turbine ergeben, dass sie bei einem Gefälle von $3\frac{1}{2}$ Fuss 0,75 der gesammten Arbeit des Wassergefälles, bei nahe 2 Fuss Gefälle 0,66, ja bei einem Gefälle von kaum 1 Fuss immer noch 0,60 der gesammten Wasserkraft nutzbar macht. Kein anderes der bekannten Wasserräder ist im Stande, unter solchen aussergewöhnlichen Umständen so vortheilhafte Resultate zu liefern.

194 **Die Callon'sche Turbine.** Unter allen diesen Vorzügen, welche die Fourneyron'sche Turbine besitzt, hat sie aber einen Uebelstand, der darin besteht, dass sie nicht immer einen gleichen Theil der von der Wasserkraft geleisteten Arbeit zur Verwendung bringt. Wir haben nämlich oben angeführt, dass die Oeffnung, aus welcher das Wasser aus dem cylindrischen Leitschaufelapparat in das Rad tritt, durch ein verschiebbares, cylindrisches Schutzbrett von oben nach unten mehr oder weniger verengt werden kann. Die Stellung dieser Schütze richtet sich nach der Quantität des verwendbaren Aufschlagewassers. Hiernach hat also die Wasserschicht, welche aus den Leitschaufeln austritt, um zu den Radschaufeln zu gelangen, je nach den Umständen eine verschiedene Dicke und füllt das Rad in seiner ganzen Höhe nicht immer vollständig aus. Es bleibt zwar der obere Theil der von den Schaufeln gebildeten Zwischenräume nicht leer, aber da das Wasser dieses Theiles nicht die Geschwindigkeit des aus den Leitschaufeln einströmenden Wassers besitzt, so entstehen hierdurch Rückstauungen und Wirbel, welche einen Verlust an Geschwindigkeit und demgemäss auch an nutzbarer Arbeit im Gefolge haben. Um auch diese letzten Uebelstände zu beseitigen, wendet Fourneyron die sogenannten Etagenräder an, indem er, wie es Fig. 299 oberhalb *A* zeigt, das Rad durch eine oder zwei ringförmige Scheidewände in zwei oder drei übereinander stehende Abtheilungen theilt, so dass bei tieferem Schützenstande die oberste, oder die beiden höchsten Abtheilungen ganz abgeschlossen sind und das Wasser nur durch die nicht zugedeckte Abtheilung gehen kann. Allein diese Einrichtung erfüllt ihren Zweck nur unvollständig.

Callon suchte den angeführten Uebelstand auf eine andere Weise zu beseitigen. Er ersetzte die eine Schütze durch eine grosse Anzahl einzelner Schützen, von denen eine jede einen oder doch bloss zwei Zugänge zu den Leitschaufelräumen abzuschliessen bestimmt ist. In Fig. 300 ist diese Einrichtung von Callon im Aufrisse und im Grundrisse zu sehen. Der Leitschaufelapparat *B* ist hier oben ganz zugedeckt und von innen durch ein System von Schützen *E, E* . . . , von denen eine jede über zwei Leitschaufeln weggeht, zu verschliessen. Mit Hülfe dieser Schützen kann man nun die Menge des in das Rad *A* einströmenden Wassers leicht vermindern, ohne die Dicke der einströmenden Wasserschicht zu verringern; man braucht hierzu nur einige dieser Schützen in regelmässiger

Vertheilung um die Welle des Rades herum aufzuziehen und die übrigen ganz niederzulassen.

Fig. 300.



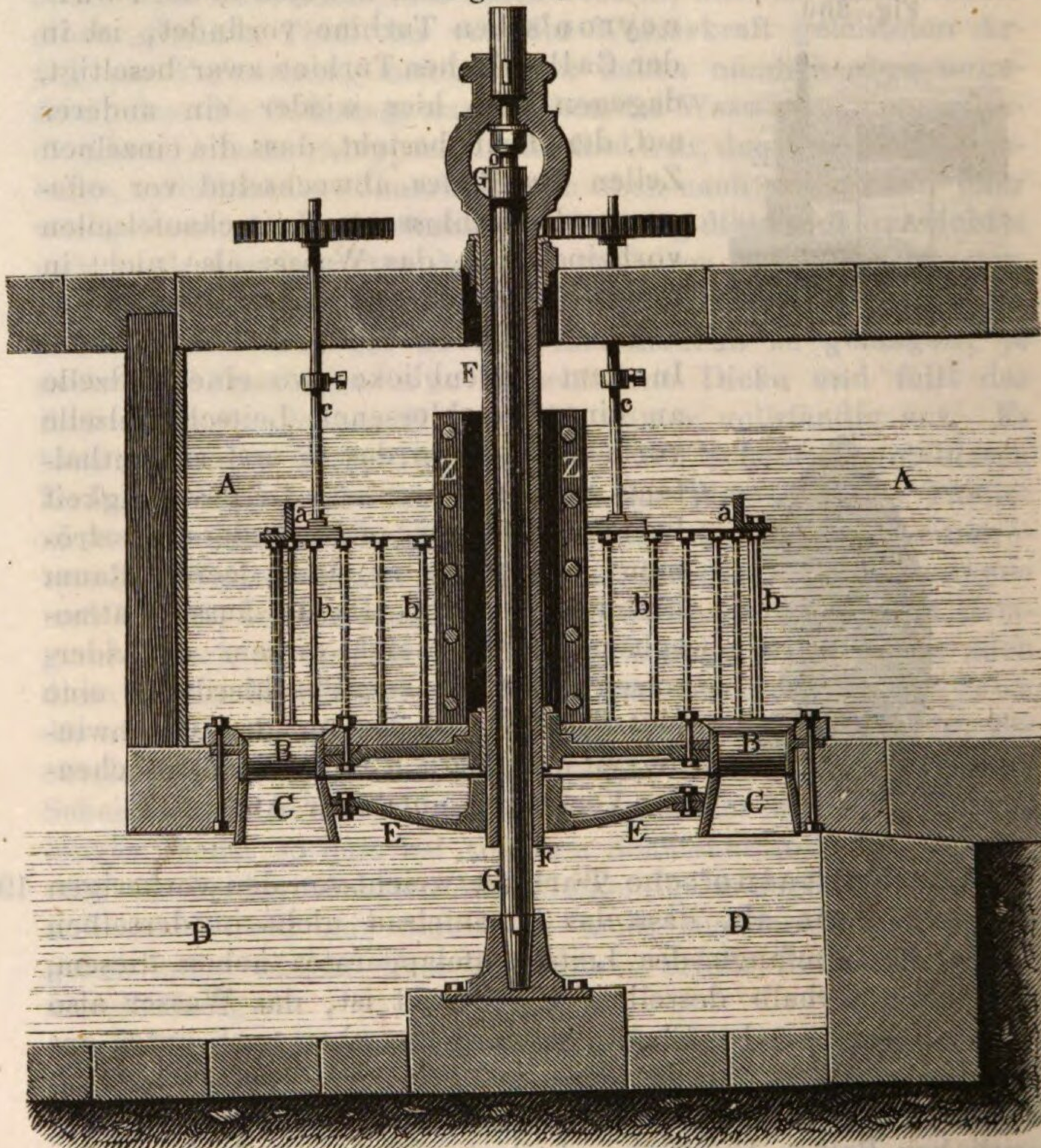


Der Uebelstand, der sich in der Fourneyron'schen Turbine vorfindet, ist in der Callon'schen Turbine zwar beseitigt, dagegen tritt hier wieder ein anderer auf, der darin besteht, dass die einzelnen Zellen des Rades abwechselnd vor offenen und geschlossenen Leitschaufelzellen vorbeipassiren, das Wasser also nicht in ununterbrochenen Strömen durch die Kanäle des Rades hindurchfliessen kann. In dem Augenblicke, wo eine Radzelle an einer geschlossenen Leitschaufelzelle vorbeiläuft, kann das in ersterer enthaltene und mit grosser Geschwindigkeit behaftete Wasser nicht anders ausströmen, als indem es einen leeren Raum hinter sich bildet. Da die äussere atmosphärische Luft sich diesem zu widersetzen strebt, so entsteht hierdurch eine plötzliche Verminderung der Geschwindigkeit und folglich auch ein entsprechender Verlust an nutzbarer Arbeit.

Die Fontaine'sche Turbine weicht von den vorherigen 195
Turbinen darin ab, dass das Schaufelrad nicht in derselben Ebene am Umfange des Leitschaufelapparates neben diesem, sondern unterhalb desselben angebracht ist, das Wasser also nicht in horizontaler Ebene, sondern von oben nach unten aus den Leitschaufeln in das Rad geführt wird. Bei dieser Einrichtung gelangt das Wasser *AA*, Fig. 301 (a. f. S.), durch den auf seitlichen Balken befestigten Leitschaufelapparat *B*, *B* auf das darunter befindliche, ebenfalls mit Schaufeln versehene Rad *CC*. Letzteres ist auf einem gusseisernen Teller *EE* befestigt, dessen verticale Welle *FF* durch die Umdrehung des Rades *CC* in Rotation versetzt wird. Diese Welle ist hohl und umschliesst eine andere auf dem Boden des Unterwassers sich stützende feste Welle *GG*, die an der Umdrehung des Rades *CC* keinen Theil hat, aber auf ihrem Kopfe bei *G* eine stählerne Pfanne enthält, in welcher ein auf dem oberen Auge der Welle *FF* befestigter Stift *o* ruht. Auf diese Weise ist das Rad *CC* mit

Teller EE und Welle FF auf dem Kopfe der feststehenden Welle GG aufgehängt, und es kann der Zapfen in seiner Pfanne

Fig. 301.

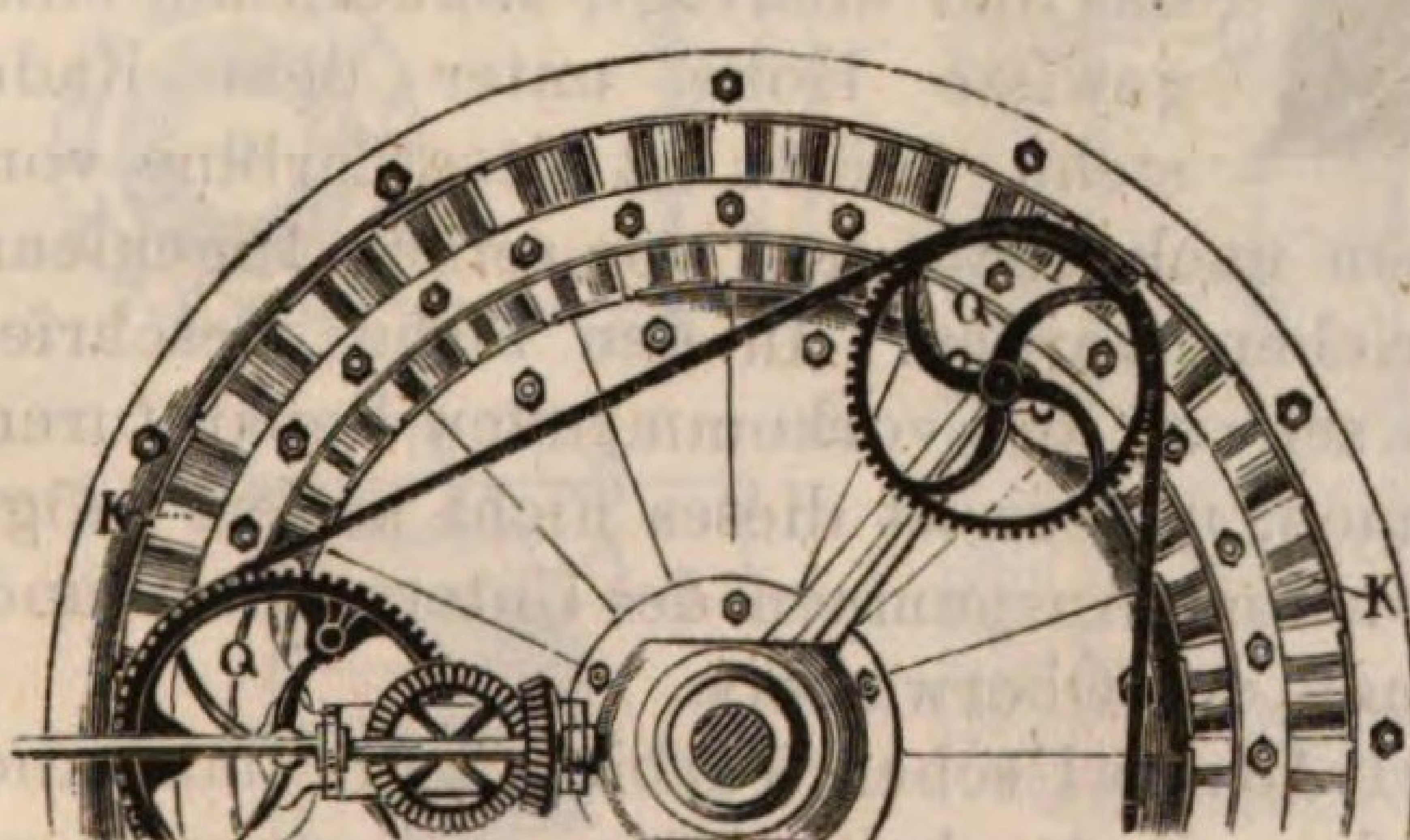


leicht in Schmiere gehalten werden. Durch eine über dem Auge G eingesetzte verticale Welle wird die Umdrehung des Rades zum Betriebe der übrigen Maschinentheile weiter fortgepflanzt. Um die stehende Welle FF gegen das umgebende Wasser zu schützen, wird sie, wie bei der Fourneyron'schen Turbine, mit einem Mantel ZZ umgeben.

Die Oeffnung BB, durch welche das Wasser in das darunter befindliche Rad CC gelangt, ist auf seinem ganzen Umfange durch gekrümmte Leitschaufeln in einzelne Zellen abge-

theilt, um dem Wasser die erforderliche Ausflussrichtung zu geben, bevor es in das Rad *CC* übergeht. Eine jede zwischen zwei Leitschaufeln befindliche Abtheilung hat eine besondere Schütze, um die betreffende Zelle je nach der disponibeln Wassermenge mehr oder weniger abschliessen zu können. Die von diesen Schützen ausgehenden verticalen Zugstangen *b*, *b*... sind oben durch einen Kranz *aa* mit einander verbunden, welcher vermittelst drei Zugstangen *c*, *c* gehoben und gesenkt werden kann. Zu diesem Zwecke erhalten die Enden dieser Stangen ein Schraubengewinde und ein Zahnrad, dessen Nabe eine auf das Schraubengewinde passende Schraubenmutter enthält. Wird dieses Zahnrad rund gedreht, so bewirkt die Umdrehung der inneren Schraubenmutter, ganz wie bei der Schrauben-Wagenwinde, I. Fig. 151, Seite 154, je nach der Richtung der Drehung ein Heben oder Senken der Zugstange *c*. Wie Fig. 302 zeigt, stehen die drei Schrauben-Zahnräder durch eine Kette ohne Ende mit einander in Verbindung. Wird das eine Rad *Q* durch Umdrehen einer Kurbel und vermittelst eines conischen Räderwerkes rund gedreht, so drehen sich die anderen beiden Räder gleichmässig mit, und es werden dadurch alle drei Zugstangen *c*, *c* gleichmässig angezogen oder niedergelassen.

Fig. 302.

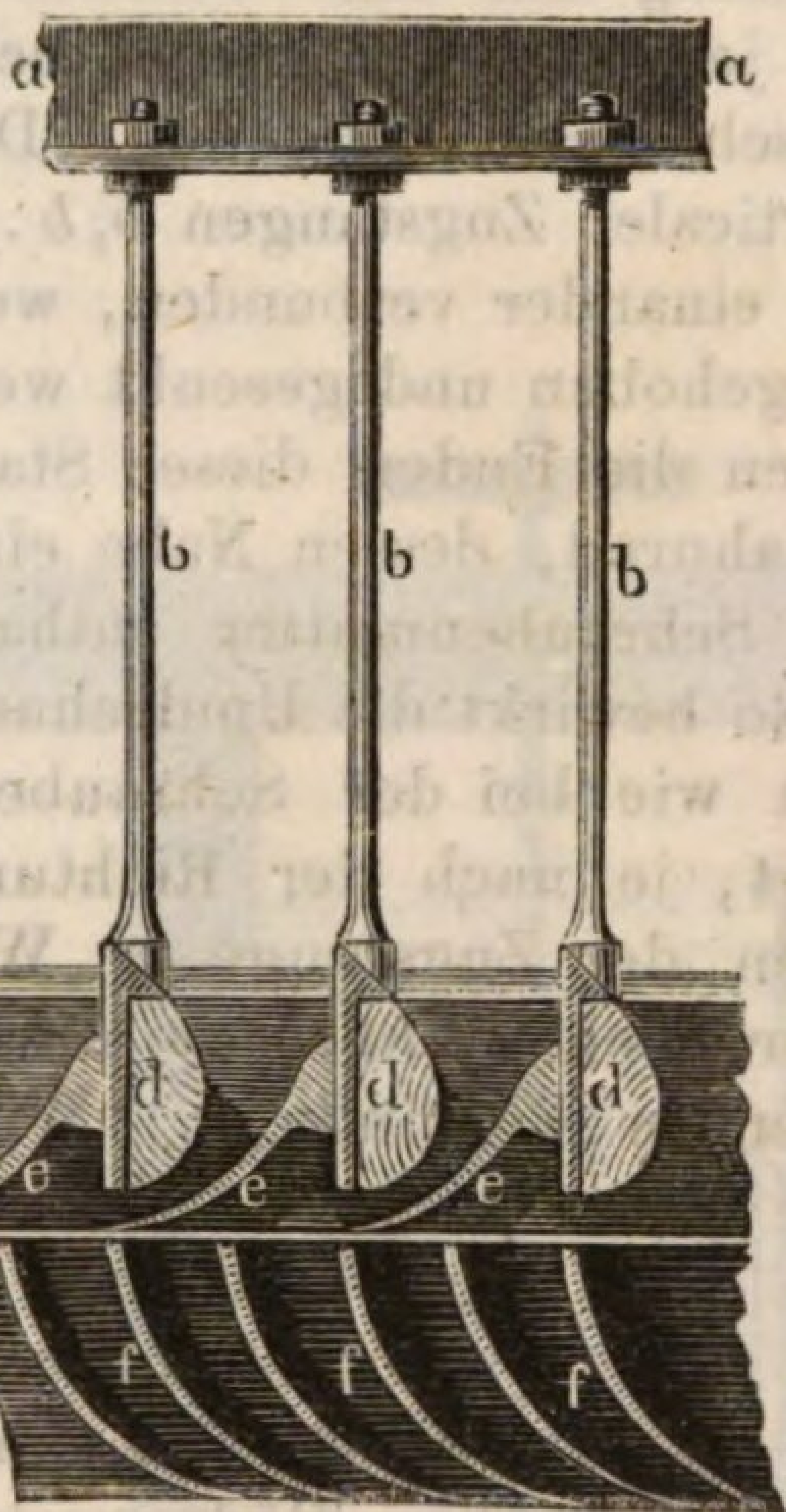


Die Fig. 303 (a. f. S.) zeigt die Einrichtung der Leitschaufeln *e*, *e*, *e* mit den darauf befestigten Schützen *d*, *d*, *d*, den Zugstangen *b*, *b*, *b* und dem gemeinschaftlichen Kranze *aa*. Jede Leitschaufel *e* bildet mit dem benachbarten, unten abgerundeten Ende der Schütze *d* eine Zelle, in welcher das Wasser die geeignete Richtung zum Einströmen in das darunter befindliche Rad annimmt. Die Schaufeln *f*, *f*, *f* dieses Rades sind wie die Leitschaufeln gekrümmt, aber in der entgegengesetzten Richtung.

In der Fontaine'schen Turbine sind die bei der Fourneyron'schen Turbine hervorgehobenen Mängel fast gänzlich

beseitigt, und sie schwankt daher in ihrem Effecte nur wenig, wenn man ihr auch nicht alles Wasser liefert, welches sie zu verwenden im Stande ist. Uebrigens geben beide Wasserräder gleich gute Resultate, wenn die Schützen ganz aufgezogen sind und die Maschine mit vollem Wasser arbeitet.

Fig. 303.



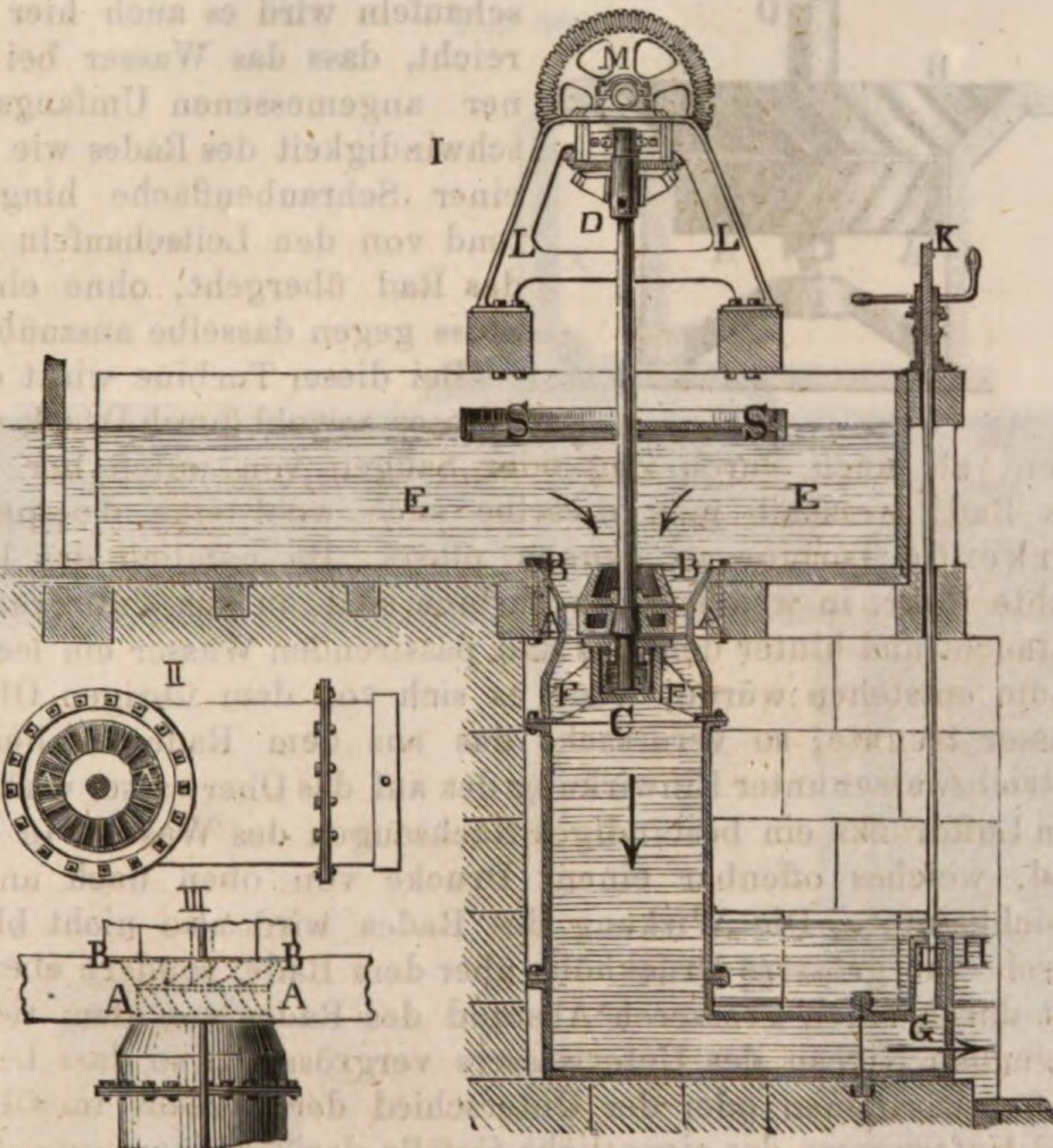
196 **Die Turbinen von Henschel, Jonval und Köchlin.** Bereits im Jahre 1832 hatte der Oberbergrath Henschel aus Cassel eine Turbine entworfen und dieselbe 1841 in einer Steinschleiferei zu Holzminden aufgestellt, in welcher das Niveau des Unterwassers nicht, wie bei der Fontaine'schen Turbine, ganz bis zum Rade reicht, oder sogar das Rad überragt, sondern um eine gewisse Höhe unter dem Rade steht. Später ist diese Turbine von Köchlin in Mühlhausen nachgebaut und von seinem Ingenieur Jonval zuerst beschrieben worden. In den bisher beschriebenen Turbinen ist es schwer, bei vorkommenden Reparaturen zu dem Rade zu kommen, und es ist dieses nicht anders möglich, als durch Ablassen und Auspumpen des Unterwassers und gleichzeitiges Abdämmen des Oberwassers.

Bei der Henschel-Jonval'schen Turbine kann man die Leitschaufeln sammt dem Rade bei einem und demselben Wasserstande beliebig höher über dem Unterwasser stellen, ohne am Effect des Rades einen erheblichen Verlust zu erleiden; das Rad wird hierdurch sehr leicht zugänglich und Reparaturen können ohne Mühe daran vorgenommen werden.

Die Fig. 304 zeigt die einzelnen Theile einer Henschel-Jonval'schen Turbine. *AA* ist das durch einen Teller mit der verticalen Welle *CD* verbundene Rad, *BB* der darüberstehende Leitschaufelapparat, *EE* das Aufschlagegerinne, welches bei *BB* das Wasser trichterförmig in die Leitschaufeln einlaufen lässt. Das Zapfenlager der Welle ruht in einem Gehäuse *C*, welches durch seitlich abgehende Träger *FF* unterstützt und getragen wird. Auf der Oberfläche des Wassers

liegt ein hölzerner Schwimmer SS, der dazu dient, das Wasser ruhig zu erhalten; der Abfluss des Betriebswassers und damit

Fig. 304.

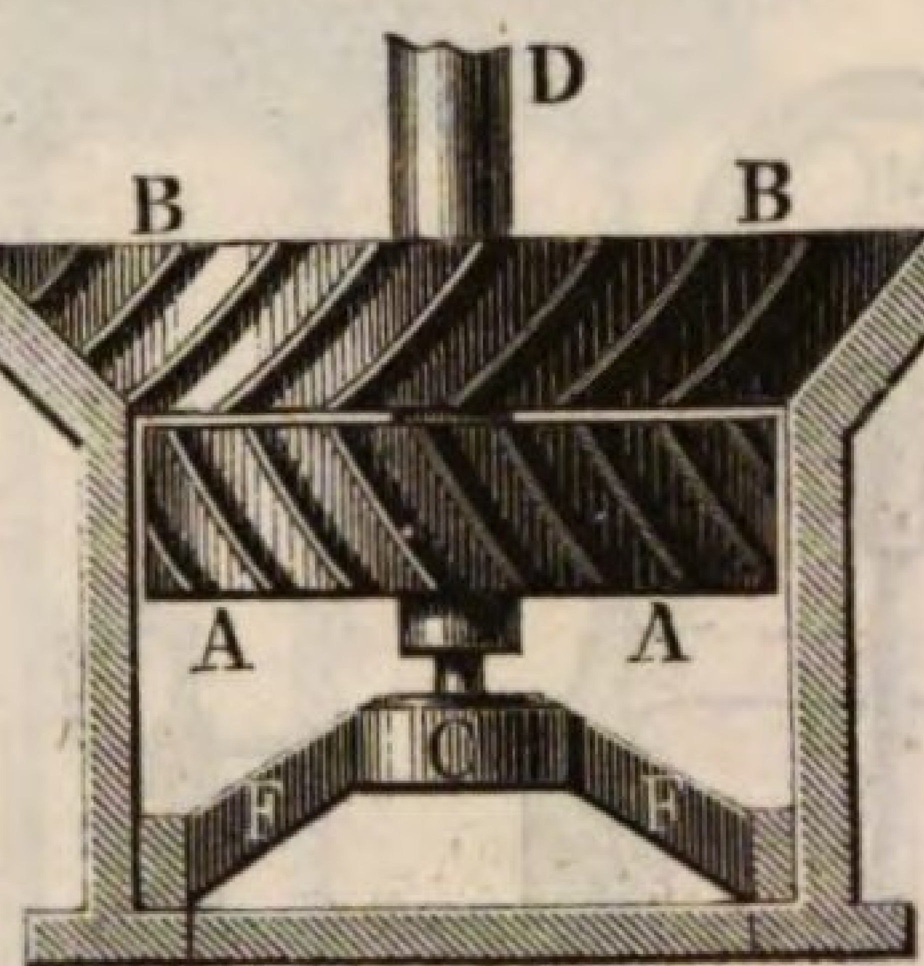


zugleich der Lauf des Rades AA wird durch eine Schütze G regulirt, welche sich durch Kurbel und Schraube höher und tiefer stellen lässt; je höher man die Schütze stellt, desto mehr Betriebswasser kann in das Unterwasser H abfliessen und desto mehr Arbeit kann das Rad ausführen. Der Bock LL trägt das Lager für den oberen Wellzapfen, und, wo es erforderlich ist, zugleich für eine zweite liegende Welle, auf welche dann mittelst zweier Winkelräder die Drehung der verticalen Welle CD übertragen wird.

Die Fig. 305 (a. f. S.) zeigt die Einrichtung des Leitschaufelapparates und des Rades noch deutlicher. BB ist der Kranz von festen Leitschaufeln, AA das aus entgegengesetzt gerichteten

Schaufeln bestehende Rad, *C* das untere Zapfenlager für die Welle *D* des Rades *AA*, *FF* die seitlichen Arme, welche dieses Lager tragen. Durch die schiefe Form der Leit- und Radschaufeln wird es auch hier erreicht, dass das Wasser bei einer angemessenen Umfangsgeschwindigkeit des Rades wie auf einer Schraubenfläche hingleitend von den Leitschaufeln auf das Rad übergeht, ohne einen Stoss gegen dasselbe auszuüben.

Fig. 305.



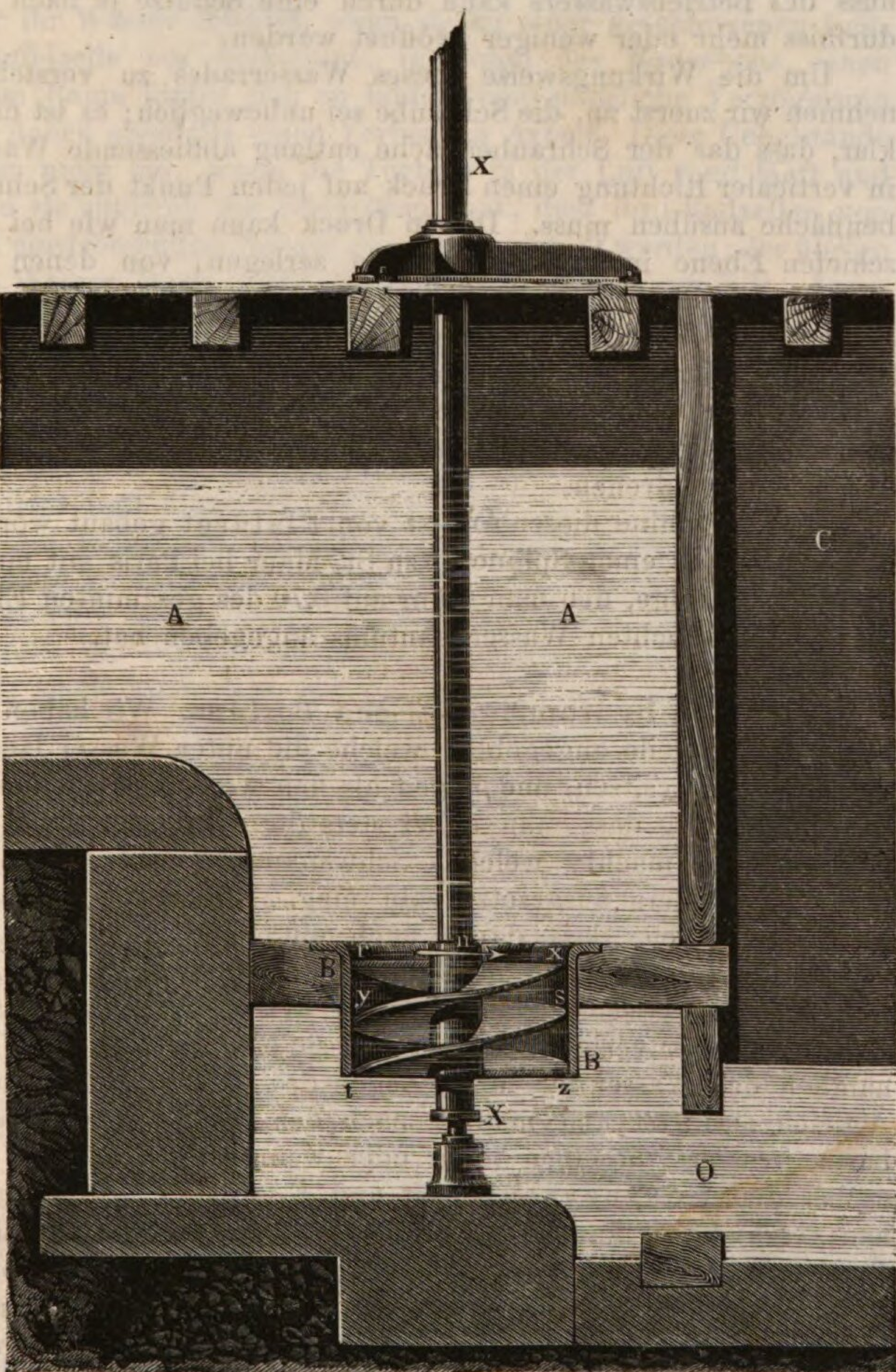
Bei dieser Turbine wirkt das Wasser sowohl durch Druck von oben, als auch durch Zug oder Saugen von unten her auf das Rad, wesshalb man dieselbe auch wohl eine doppeltwirkende Turbine zu nennen pflegt. Da nämlich das luftdichte Rohr, in welchem die Turbine sitzt, in das Unterwasser eintaucht und hinter dem das Rad passirenden Wasser ein leerer Raum entstehen würde, wenn es sich von dem übrigen Oberwasser trennte, so verursacht das aus dem Rade abfallende Betriebswasser unter Einwirkung des auf das Oberwasser wirkenden Luftdrucks ein beständiges Nachsaugen des Wassers in das Rad, welches offenbar einem Drucke von oben nach unten gleichkommt. Die Wirkung des Rades wird also nicht bloss durch eine grössere Druckhöhe über dem Rade, sondern ebenso gut durch einen grösseren Abstand des Rades von dem tiefer liegenden Niveau des Unterwassers vergrössert, so dass beide Höhen zusammen oder der Unterschied der Niveaus im Ober- und Unterwasser das eigentliche Gefälle der Turbine ausmachen und es innerhalb gewisser Gränzen ziemlich gleich ist, ob die Turbine in dem Rohre höher oder tiefer gestellt wird.

Die Henschel-Jonval'sche Turbine gehört zu den besten Wasserrädern und findet daher immer mehr Anwendung, obgleich wegen der besonderen Krümmung, welche die Leit- und Radschaufeln haben müssen, ihre Construction einige Schwierigkeiten darbietet. Nach den dynamometrischen Messungen ergaben Turbinen dieser Art von 2 Fuss bis 5 Fuss Durchmesser einen Nutzeffect von 0,75 und 0,80 bis 0,84 der gesammten Wasserkraft.

197 **Die Schraubenturbine**, Fig. 306, unterscheidet sich nicht wesentlich von der Fontaine'schen und Henschel'schen Tur-

bine. Auch bei ihr strömt das Wasser aus dem Behälter *AA* in einen hohlen Cylinder *BB*, aber in diesem Cylinder befinden sich nur zwei aus Eisenblech gebildete Schraubenflächen *rst* und *xyz*, welche parallel zu einander verlaufen und in dem

Fig. 306.



inneren Kern XX, um welchen sie herum gelegt sind, eine gemeinschaftliche Achse haben. Der Spielraum zwischen diesem Schraubenrade und dem umhüllenden Mantel BB beträgt nur $4\frac{1}{2}$ Linien. Die Welle XX hat dieselbe Aufhängung, wie in der Fontaine'schen Turbine. Die Mündung O für den Abfluss des Betriebswassers kann durch eine Schütze je nach Bedürfniss mehr oder weniger geöffnet werden.

Um die Wirkungsweise dieses Wasserrades zu verstehen, nehmen wir zuerst an, die Schraube sei unbeweglich; es ist dann klar, dass das der Schraubenfläche entlang abfliessende Wasser in verticaler Richtung einen Druck auf jeden Punkt der Schraubenfläche ausüben muss. Diesen Druck kann man wie bei der schiefen Ebene in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine senkrecht gegen die Schraubenfläche wirkend von dem Widerstande derselben aufgehoben wird, die andere horizontale Seitenkraft dagegen das Bestreben hat, die Schraube um ihre verticale Welle XX zu drehen. Wird daher diese Welle nicht festgehalten, so wird sie der zuletzt genannten Kraft frei folgen und sich rund drehen.

Eine Maschine dieser Art ist von Plataret gebaut worden und arbeitet in einer Spinnerei zu St. Maur bei Paris mit einem günstigen Erfolge, den man sogar auf 0,70 des gesammten Effectes des verbrauchten Wasserquantums angegeben hat.

198 **Girard's hydropneumatische Turbine.** Wir haben bereits die Vortheile angegeben, welche die unter Wasser laufenden Turbinen besitzen, und haben als den wesentlichsten derselben angeführt, dass man dabei stets die ganze Höhe des Gefälles nutzbar macht, welchen Schwankungen auch die Höhe des Unterwassers ausgesetzt sein mag. Indessen ist es uns nicht entgangen, dass damit auch ein Nachtheil verbunden ist, in demjenigen Falle nämlich, wenn die Turbine bei zum Theil niedergelassener Schütze unter Wasser läuft und dabei weniger Wasser verbraucht, als wofür sie eingerichtet ist. Wenn nämlich das Wasser aus allen Zellen des Leitschaufelapparates zugleich ausfliesst und man je nach der Menge des verwendbaren Wassers dieselben mehr oder weniger verschliesst, wie es bei den Fourneyron'schen und Fontaine'schen Turbinen geschieht, so kann das Aufschlagewasser offenbar nur einen Theil des ganzen Raumes der Radzellen ausfüllen, der übrige Theil ist dann mit dem Unterwasser ausgefüllt, welches als träge Masse an der Umdrehung des Rades Theil nimmt, Stauungen

verursacht und Arbeitsverlust herbeiführt. Wenn, wie es bei der Turbine von Callon geschieht, bloss eine gewisse Anzahl von Leitschaufelzellen geschlossen, die übrigen aber ganz offen sind, so füllt sich zwar jede Radzelle ganz mit Wasser an, wenn sie bei einer offenen Leitschaufelzelle vorbeirotirt, aber ihr Wasser erleidet, wenn sie an einer geschlossenen Leitschaufelzelle vor beikommt, in Folge des Bestrebens, einen leeren Raum hinter sich zu bilden, eine plötzliche Verzögerung und daher ebenfalls einen Verlust an Arbeit. Diese Uebelstände treten nicht ein, wenn die Turbine in der Luft rund läuft und wenn sie zugleich die Einrichtung hat, dass ihre Radzellen von dem einströmenden Wasser nie ganz angefüllt werden; der übrige von Wasser leere Theil ist dann mit Luft ausgefüllt, deren Gegenwart das ungehinderte Vorbeigleiten des Wassers an den gekrümmten Radschaufeln nicht stört.

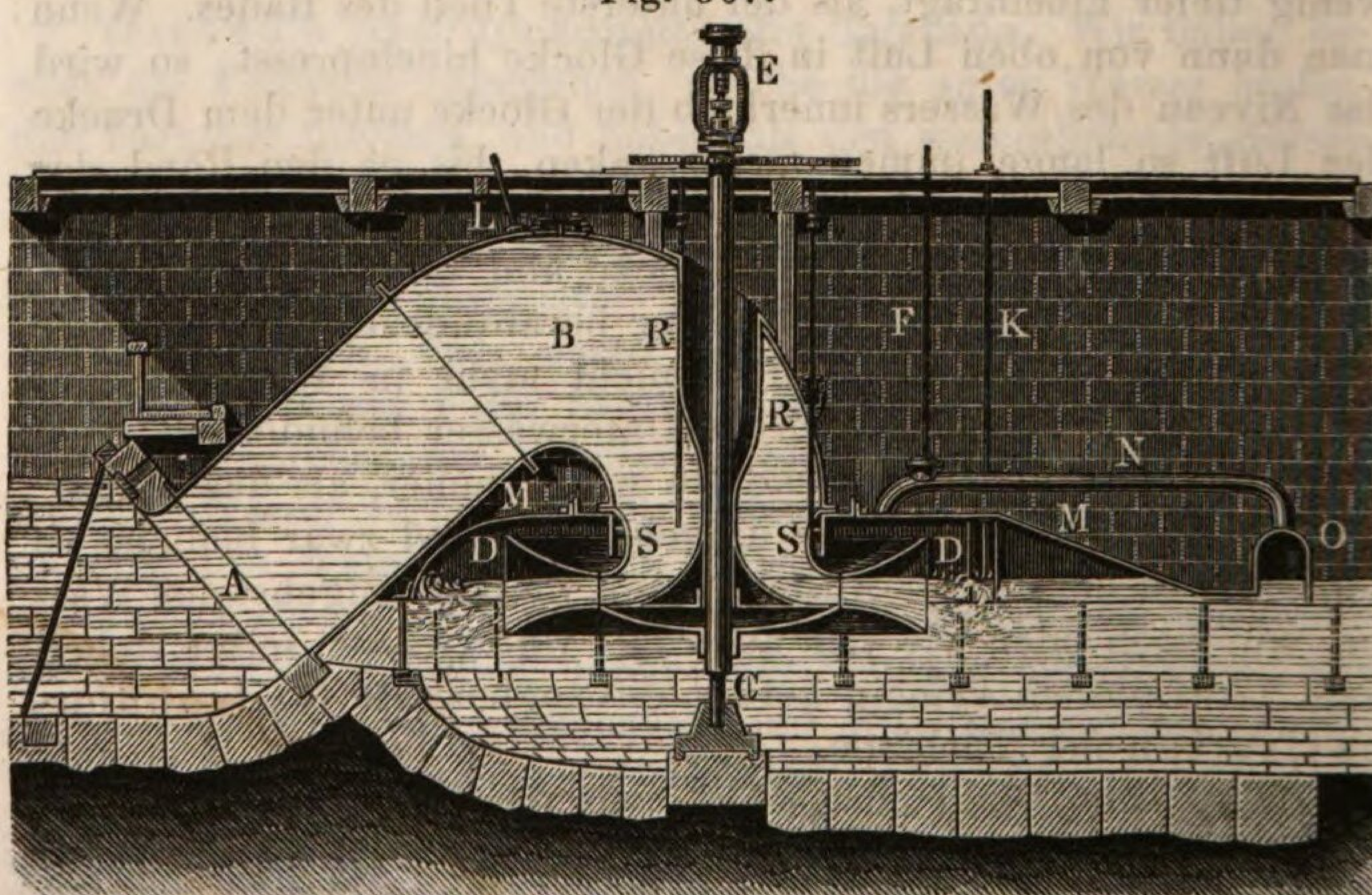
Um diese beiden Vortheile, welche die Turbine darbietet, wenn sie unter Wasser und in der Luft läuft, zu vereinigen, hatte Girard den glücklichen Gedanken, die Turbine in comprimirter Luft laufen zu lassen, um so durch Hinzuleitung von Luft bei tiefen Schützenständen das Unterwasser von der Radmündung zu entfernen. Denken wir uns, dass eine Turbine im Unterwasser stehe, aber von einer Art Glocke bedeckt sei, die ebenfalls im Wasser eintaucht und deren unterster Rand ein wenig tiefer hineinragt, als der unterste Theil des Rades. Wenn man dann von oben Luft in diese Glocke hineinpresst, so wird das Niveau des Wassers innerhalb der Glocke unter dem Drucke der Luft so lange immer mehr sinken, bis es den Rand der Glocke erreicht hat; pumpt man nun noch mehr Luft hinein, so entweicht dieselbe aus der Glocke und vermag nicht mehr, das Niveau des Wassers noch tiefer herabzudrücken. Bei einer solchen Einrichtung ist das Rad nicht mehr in Wasser eingetaucht, obwohl es sich noch im Unterwasser befindet; es steht vielmehr innerhalb der Glocke ein wenig höher, als das Wasser, von welchem es unmittelbar umgeben ist, und zwar befindet es sich stets in demselben Abstande von diesem umgebenden Wasser, wie hoch oder wie tief auch das Unterwasser selbst stehen mag. Auf diesem Princip beruht die sogenannte Hydropneumatisation der Turbinen.

Es ist nun leicht einzusehen, wie das Wasser in einer solchen Turbine wirkt, wenn man sich nur daran erinnert, was wir über den Ausfluss einer Flüssigkeit aus einem Gefässe für den Fall gesagt haben, wo der Druck an der Ausflussöffnung grösser

ist, als an der freien Oberfläche im Reservoir (§. 82). Wenn das Niveau des Unterwassers 10 Zoll über dem Rande der Glocke liegt, welche die Turbine bedeckt, so wird der Ueberdruck der in dieser Glocke enthaltenen Luft über den Druck der äusseren Luft durch eine Wassersäule von 10 Zoll Höhe gemessen. Der Ausfluss des Wassers aus dem Reservoir in die Turbine, also in den mit der comprimirten Luft gefüllten Raum, erfolgt daher auf dieselbe Weise, als wenn die Luft nicht comprimirt wäre, aber dafür das Niveau des Oberwassers 10 Zoll tiefer läge; es richtet sich also der Ausfluss stets nach der Gefällhöhe, d. h. nach dem Unterschied der Niveaus im Ober- und im Unterwasser. Die Anwendung einer solchen Glocke mit comprimirter Luft liefert daher dasselbe Resultat, als wenn man bei unveränderter Stellung des Rades die beiden genannten Niveaus gleichzeitig um die nämliche Grösse so weit gesenkt hätte, bis das Niveau des Unterwassers dicht unter dem Rade sich befände. Man sieht hieraus, dass eine hydropneumatische Turbine den Vortheil, in der Luft zu rotiren, mit den Vortheilen, im Unterwasser zu stehen und damit zugleich die ganze Höhe des Gefälles zu benutzen, in sich vereinigt.

In der Fig. 307 ist die hydropneumatische Turbine, welche Girard für eine Spinnerei zu Eindhoven in Holland gebaut hat, abgebildet. Das Wasser tritt durch ein heberförmig geboge-

Fig. 307.



nes Rohr *AB* ungestört in das Rad *DD* ein, welches sich von innen nach aussen allmälig erweitert und unten auf einem Teller und mittelst desselben auf der hohlen Welle befestigt ist. Die Aufhängung dieser Welle bei *E* mittelst eines Zapfens auf der feststehenden Welle *EC* ist wie in der Fontaine'schen Turbine eingerichtet. Das Rohr *RR*, welches das Wasser von der Welle abhält, hat hier einen länglichen Querschnitt, um die Bewegung des Wassers möglichst wenig zu stören. Die Turbine setzt eine Compressionsluftpumpe in Bewegung, welche durch eine Röhre *F* in die von der Glocke *MM* umschlossene Radstube fortwährend Luft einpumpt; die überflüssige Luft wird durch eine andere Röhre *K* wieder abgeführt und so der Wasserstand unter der Glocke *MM* constant erhalten. Die von dem Wasser mit fortgeführte Luft sammelt sich wieder in der Glocke *O* und wird von hier durch die Röhre *N* in die Radstube unter *MM* zurückgeführt. Die Schützeneinrichtung *SS* bietet nichts Aussergewöhnliches dar. Wie man sieht, presst die unter *MM* comprimirte Luft das Niveau des Unterwassers unter die oberen Theile der Ausflussmündungen *D*, *D* hinab, so dass diese Theile stets in der Luft rotiren und mit Luft gefülli sind, während der übrige Theil der Radzellen mit dem wirkenden Wasser gefüllt bleibt. Mittelst einer kleinen Saugpumpe wird endlich die aus dem Aufschlagewasser sich entwickelnde und im Scheitel des Zuleitungsrohres *AB* sich ansammelnde Luft durch das Rohr *L* abgeführt.

Die Versuche haben ergeben, dass gut construirte hydropneumatische Turbinen ebenfalls 0,75 der gesammten verwendeten Wasserkraft nutzbar machen können.

Allgemeine Bemerkungen über die Anwendung der Wasserräder. 199 Wenn man behufs Benutzung eines Wassergefälles eine hydraulische Umtriebsmaschine anwenden will, hat man zunächst unter den verschiedenen Arten von Wasserrädern dasjenige auszuwählen, welches sich für die vorhandenen Umstände am meisten eignet. Bei dieser Wahl kommen verschiedene Punkte in Betracht. Die grössere oder geringere Einfachheit des Rades sowohl, als der zu seiner Aufstellung nöthigen baulichen Einrichtungen; die Möglichkeit, von Zeit zu Zeit die vorkommenden Reparaturen daran vornehmen zu können; die Natur des Gefälles und die Veränderungen, welche in den verschiedenen Jahreszeiten bei demselben eintreten; der Umstand, ob man genöthigt ist, einen möglichst grossen Theil der vorhandenen

Wasserkraft zu benutzen, oder nicht u. s. w.; alles dieses ist auf die Wahl des Wasserrades von Einfluss und muss vor der Entscheidung, ob man ein verticales oder ein horizontales, ein unterschlägiges, mittel- oder oberschlägiges Rad aufstellen will, sorgfältig erörtert werden.

Wenn man sich auf Grund dieser Untersuchungen für das eine oder das andere Rad entschieden hat, kennt man nach dem Vorigen den Bruchtheil der Wasserkraft, welcher durch das Rad als Nutzarbeit verwendet werden kann; es ist dieses z. B. 0,75 der Wasserkraft, wenn man ein oberschlägiges Zellenrad oder eine Turbine gewählt hat, 0,56 bei einem unterschlägigen Rade mit hohlen Schaufeln, oder gar nur 0,25 bei einem unterschlägigen Rade mit ebenen Schaufeln.

Wenn man daher die Totalleistung des Gefälles vorher bestimmt hat (§. 180), so kann man daraus die Anzahl der Pferdekräfte leicht berechnen, welche das Rad nutzbar verwendet, und kann hieraus wieder die Anzahl und die Dimensionen der einzelnen Arbeitsmaschinen, z. B. von Pumpenwerken, von Mahlmühlen, Spinnereien, Webereien, Papiermühlen u. s. w. bestimmen, zu deren Betrieb eben das Wasserrad aufgestellt werden soll. Man weiss nämlich aus Erfahrung, wie viel Nutzarbeit bei diesen verschiedenen Arbeitsmaschinen von einer einzigen Pferdekraft geleistet werden kann.

Aus der Höhe des Gefälles und der Beschaffenheit des gewählten Wasserrades ergiebt sich die Anzahl der Umdrehungen, welche dieses Rad in einer gegebenen Zeit machen muss, um den grösstmöglichen Nutzeffect hervorzubringen. Hieraus ergiebt sich dann, wie man die Welle des Rades mit dem übrigen Räderwerk der Arbeitsmaschinen zu verbinden hat, damit diese bei der vortheilhaftesten Geschwindigkeit des Wasserrades ebenfalls diejenige Geschwindigkeit annehmen, welche für die von ihnen zu leistende Arbeit die geeignetste ist; diese Uebertragung der Bewegung geschieht bekanntlich entweder durch Zahnräder (I. §. 70) oder durch Riemen und Riemscheiben (I. §. 65).

Nachdem nunmehr die Geschwindigkeit, welche das Wasserrad annehmen muss, festgesetzt und auch die Wassermenge, welche das Gefälle in einer bestimmten Zeit liefert, berechnet oder gemessen worden ist, bestimmt man die Dimensionen und die Form der Zellen oder der Schaufeln des Rades derart, dass die beabsichtigte Geschwindigkeit des letzteren erreicht wird.

Hat man das Wasserrad aufgestellt und mit den einzelnen Arbeitsmaschinen in Verbindung gebracht, so hat man nur die

Schützen aufzuziehen und das Aufschlagewasser in das Rad zu leiten. Vermehrt man durch immer weiteres Aufziehen der Schützen den Zufluss des Wassers, so dreht sich das Rad immer schneller, und man kann ihm hiernach leicht diejenige Geschwindigkeit geben, welche dem Maximum seiner Leistungsfähigkeit entspricht. Hat man nun bei der Construction des Rades die richtigen Erfahrungszahlen genommen und ist überhaupt in der Einrichtung desselben nichts versehen worden, so muss es bei seiner vortheilhaftesten Umdrehungsgeschwindigkeit genau die ganze Wassermenge verbrauchen, welche das Gefälle ununterbrochen zu liefern im Stande ist.

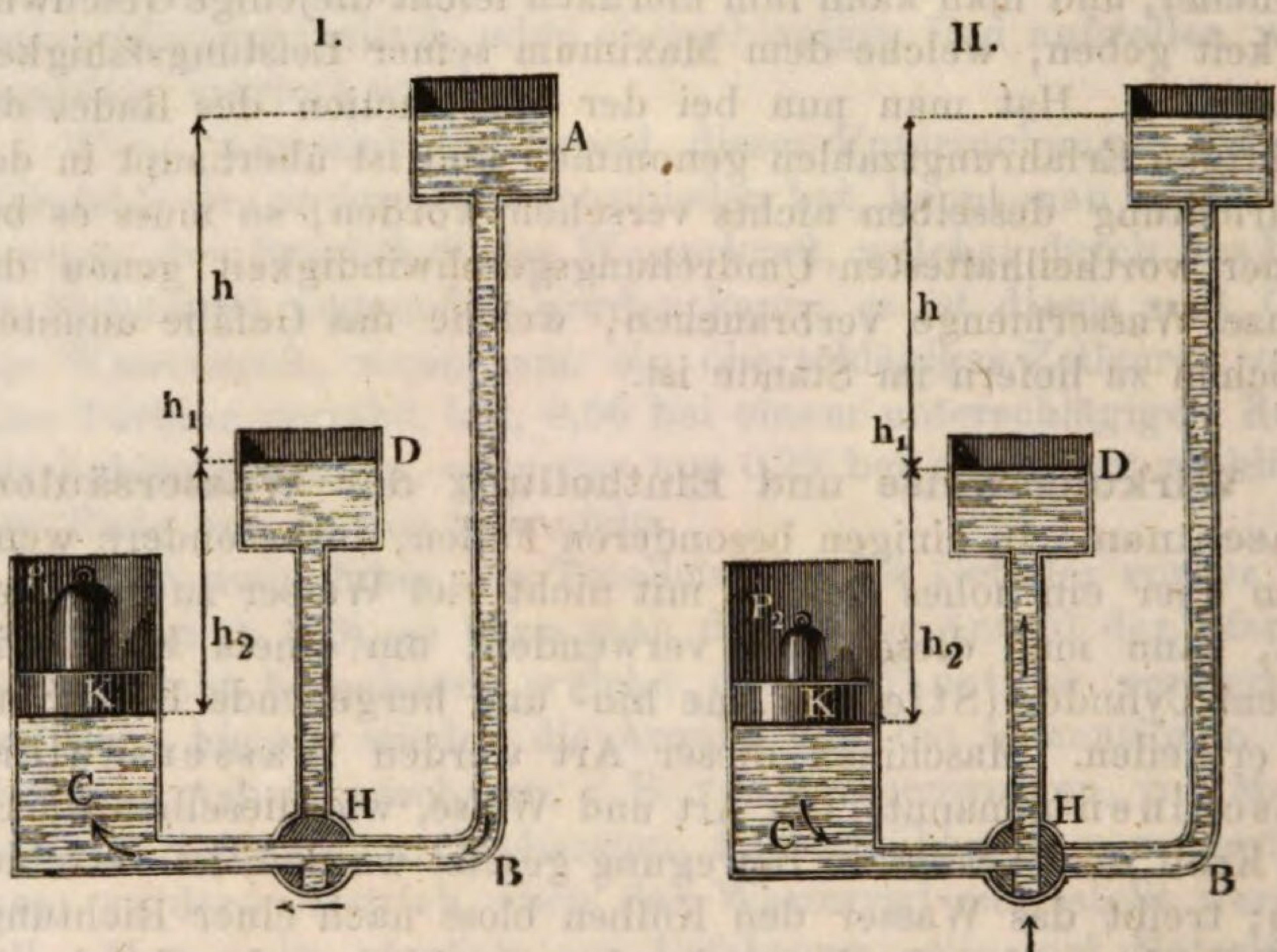
Wirkungsweise und Eintheilung der Wassersäulenmaschinen. In einigen besonderen Fällen, insbesondere wenn man über ein hohes Gefälle mit nicht viel Wasser zu verfügen hat, kann man dieses dazu verwenden, um einem Kolben in einem Cylinder (Stiefel) eine hin- und hergehende Bewegung zu ertheilen. Maschinen dieser Art werden Wassersäulenmaschinen genannt. Die Art und Weise, wie dieselben durch die Kraft des Wassers in Bewegung gesetzt werden, ist verschieden; treibt das Wasser den Kolben bloss nach einer Richtung, und macht er den Rückweg durch sein eigenes oder durch ein mit ihm verbundenes Gewicht, so heisst die Maschine eine einfachwirkende, treibt aber das Wasser abwechselnd den Kolben nach der einen und nach der anderen Richtung, so heisst sie eine doppeltwirkende Wassersäulenmaschine. 200

Die Art und Weise, wie die einfache Maschine wirkt, lässt sich leicht aus der Fig. 308 I. und II. (a. f. S.) übersehen. Das Wasser fällt aus dem Sammelkasten A durch das Einfallrohr B herab, gelangt, wenn der Hahn H (die Steuerung) offen ist (Fig. 308 I.), durch H in den Stiefel oder den Treibcylinder C unter den Kolben K und treibt diesen in die Höhe. Wird darauf, wie in Fig. 308 II., der Hahn H umgelegt, so schliesst er die Communication des Cylinders C mit dem Einfallrohr B ab und stellt dagegen die Verbindung zwischen dem Cylinder C und dem Abflussrohr D her. Da der Druck der Wassersäule AB nun nicht mehr auf die untere Seite des Kolbens K wirkt und das hier befindliche Wasser entweichen kann, so bewirkt das Gewicht des Kolbens oder eine besondere hinzugefügte Last P_2, dass der Kolben herabgeht und das Wasser den Rückweg durch den Hahn H nach dem Abflusskasten D antritt.

Bezeichnet man mit F den Querschnitt des Kolbens in Qua-

dratfuss, mit h_1 die mittlere Höhe des Niveaus im Sammelkasten A über der unteren Grundfläche des Kolbens in Fuss, mit w das

Fig. 308.



Gewicht von einem Kubikfuss Wasser, so ist beim Hinaufgange des Kolbens der mittlere Druck des Wassers gegen denselben gleich $F \cdot h_1 \cdot w$ Pfund, folglich die zur Bewegung des Kolbens durch einen Kolbenhub von s Fuss erforderliche Arbeit in Fusspfund gleich

$$F \cdot h_1 \cdot w \cdot s.$$

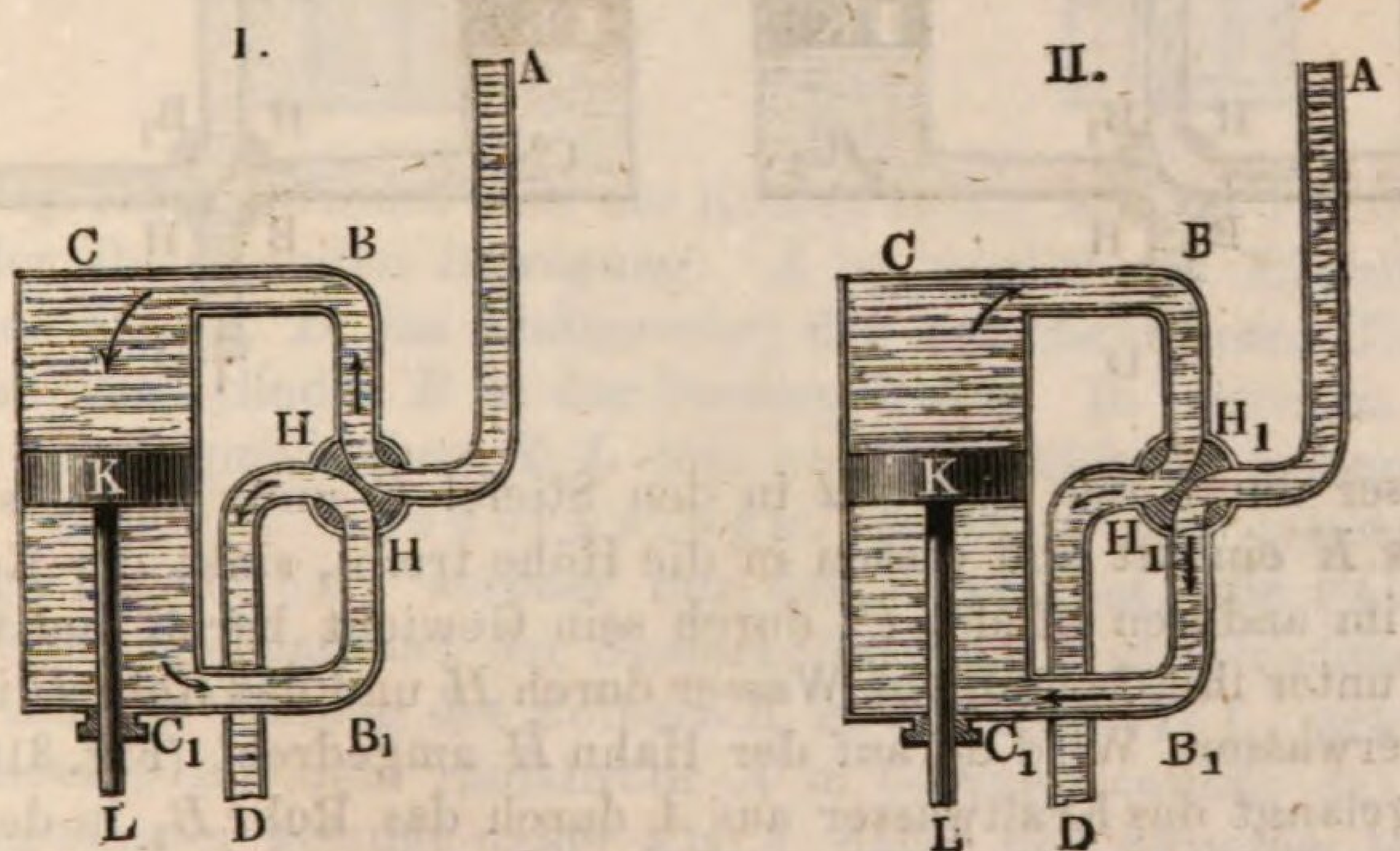
Wenn dagegen (Fig. 308 II.) der Kolben unter der Einwirkung seines Gewichtes wieder zurückgeht, so wirkt der Bewegung desselben der mittlere Druck $F \cdot h_2 \cdot w$ Pfund entgegen, wenn h_2 die Höhe des Niveaus im Ausflusskasten D über der unteren Kolbenfläche bezeichnet, wodurch für dieselbe Wegstrecke s eine Arbeit von $F \cdot h_2 \cdot w \cdot s$ Fusspfund verzehrt wird. Zu einer hin- und hergehenden Bewegung des Kolbens bleibt daher noch eine Leistung des Wassers von $F \cdot w \cdot s\ (h_1 - h_2) = F \cdot w \cdot s \cdot h$ übrig, wenn mit h die Gefällhöhe, d. h. der Abstand der beiden Niveaus im Oberwasser bei A und im Unterwasser bei D bezeichnet wird.

Nun ist aber $F \cdot s \cdot w$ offenbar das Gewicht des bei jedem Kolbenhube verbrauchten Aufschlagewassers; bezeichnet man

dieses allgemein mit Q, so ist, wenn man von Reibung und sonstigen Hindernissen der Bewegung absieht, für das ganze Spiel der Maschine die übrig bleibende disponible Leistung $Q \cdot h$, was sich nach §. 181 auch von vorne herein erwarten liess. Es folgt hieraus, dass die Leistung einer solchen Wassersäulenmaschine wie bei jeder anderen hydraulischen Kraftmaschine von dem Quantum des verbrauchten Aufschlagewassers und von dem Totalgefälle h, d. h. von dem Abstande des Oberwassers in A über dem Unterwasser in D, nicht aber von den einzelnen Druckhöhen h_1 oder h_2 abhängig ist, welche während eines Kolbenspieles bei den verschiedenen Standpunkten des Kolbens verschieden sind.

Das Princip der doppeltwirkenden Wassersäulenmaschine erkennt man leicht aus den Fig. 309 I. und II., von denen

Fig. 309.

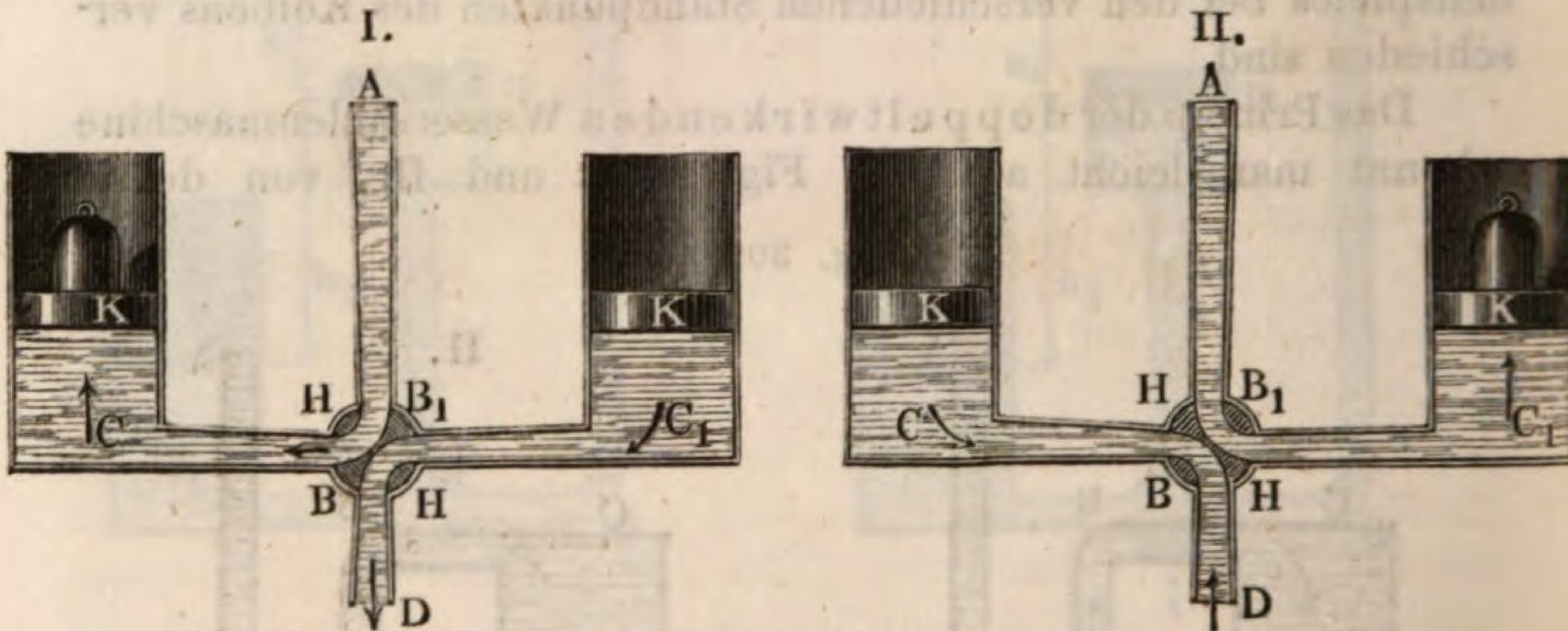


die erstere die Bewegung des Wassers beim Niedergange des Kolbens K, die andere beim Aufsteigen desselben durch Pfeile angiebt. Das Aufschlagewasser kommt aus A durch den Hahn HH und das Communicationsrohr B oberhalb des Kolbens in den Cylinder C und treibt durch seinen Druck den Kolben KL hinab; bei dieser Bewegung gelangt das unterhalb des Kolbens befindliche Wasser durch das Rohr B_1 und den zu diesem Zwecke doppelt durchbohrten Hahn HH in das Abflussrohr D und in das Unterwasser. Wenn der Kolben KL unten angekommen ist, wird der Hahn umgelegt und damit die Verbindung der Rohre A und D mit den Communicationsrohren B und B_1 gewechselt. Das Aufschlagewasser fällt nun aus A durch den Hahn

$H_1 H_1$ und das Rohr B_1 unter den Kolben K in den Cylinder C ein und treibt diesen in die Höhe; das Wasser oberhalb des Kolbens aber nimmt seinen Rückweg durch das Rohr B und den Hahn $H_1 H_1$ in das Abfallrohr D und in das Unterwasser.

Im Gegensatze zu den eben beschriebenen Wassersäulenmaschinen mit einem Stiefel hat man auch zweistiefelige Maschinen mit zwei Stiefeln oder Treibcylindern, einem Einfall- und einem Abfallrohr und einer Steuerung, wie die Fig. 310 I. und II. zeigen. Während aus dem Abfallrohr A das Druck-

Fig. 310.



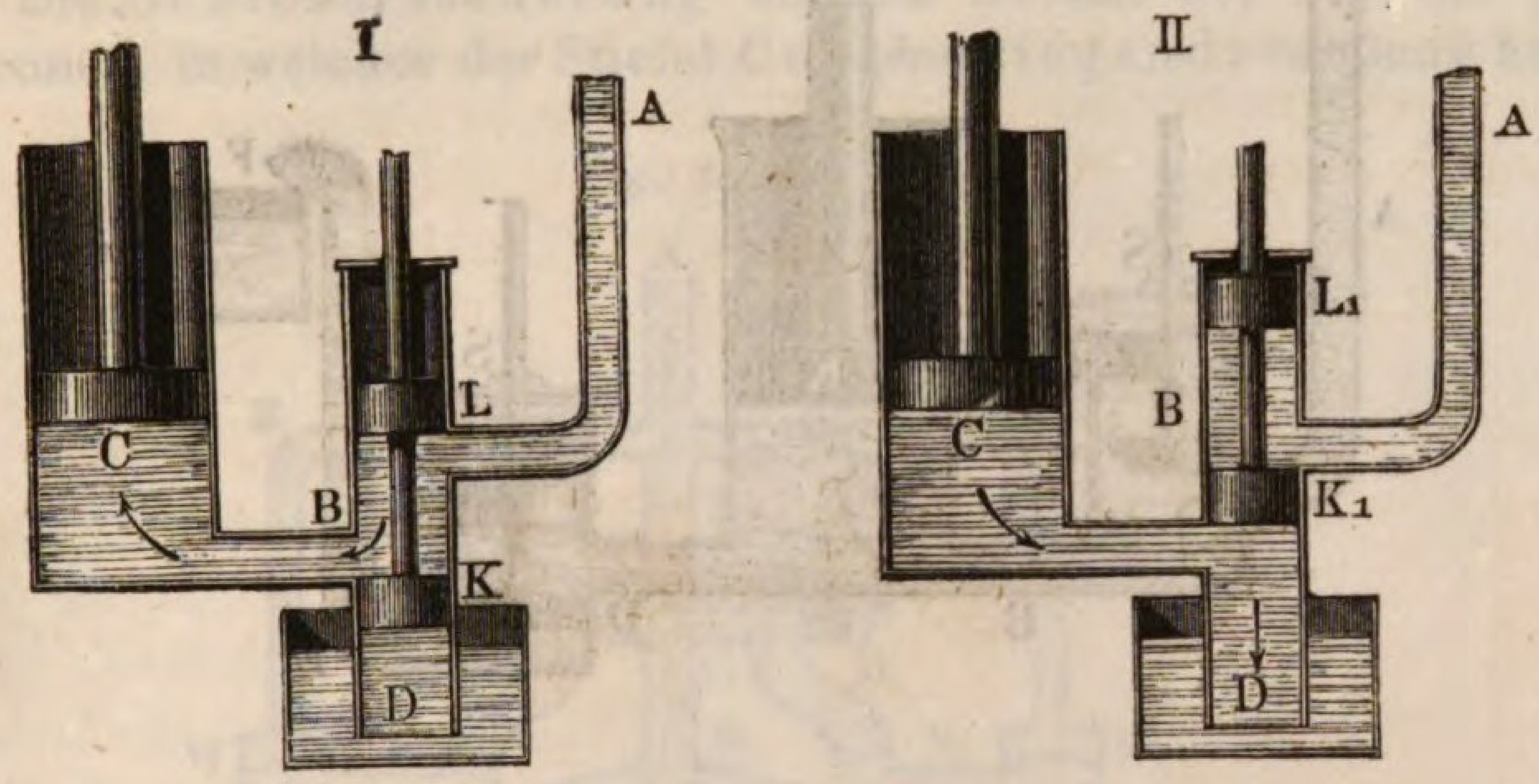
wasser durch den Hahn H in den Stiefel C unterhalb des Kolbens K eintritt und diesen in die Höhe treibt, sinkt der Kolben K_1 im anderen Stiefel C_1 durch sein Gewicht herab und treibt das unter ihm befindliche Wasser durch H und das Rohr D in das Unterwasser. Wird darauf der Hahn H umgedreht (Fig. 310 II.), so gelangt das Kraftwasser aus A durch das Rohr B_1 in den Cylinder C_1 unter den Kolben K_1 und treibt diesen in die Höhe, während der zuerst gehobene Kolben K durch sein Gewicht niedersinkt und das nicht mehr gepresste todte Wasser durch H und das Rohr B in das Unterwasser zurücktreibt.

201 **Die Steuerung** der Wassersäulenmaschinen hat den Zweck, abwechselnd das Zulassen und das Absperren des Aufschlagewassers im Treibcylinder und gleichzeitig das Abführen des todten Wassers in das Unterwasser zu vermitteln. Bei den älteren Maschinen bestand die Steuerung aus einem ein- oder mehrfach durchbohrten Hahne; gegenwärtig kommt aber fast nur noch die Kolbensteuerung, oder die Ventil- oder die Schieber-Steuerung zur Anwendung.

Die Hahnsteuerung ist aus den Figuren des vorigen Paragraphen verständlich.

Die Kolbensteuerung führen die Fig. 311 I. und II. für eine einfach wirkende, einstiefelige Maschine vor Augen

Fig. 311.



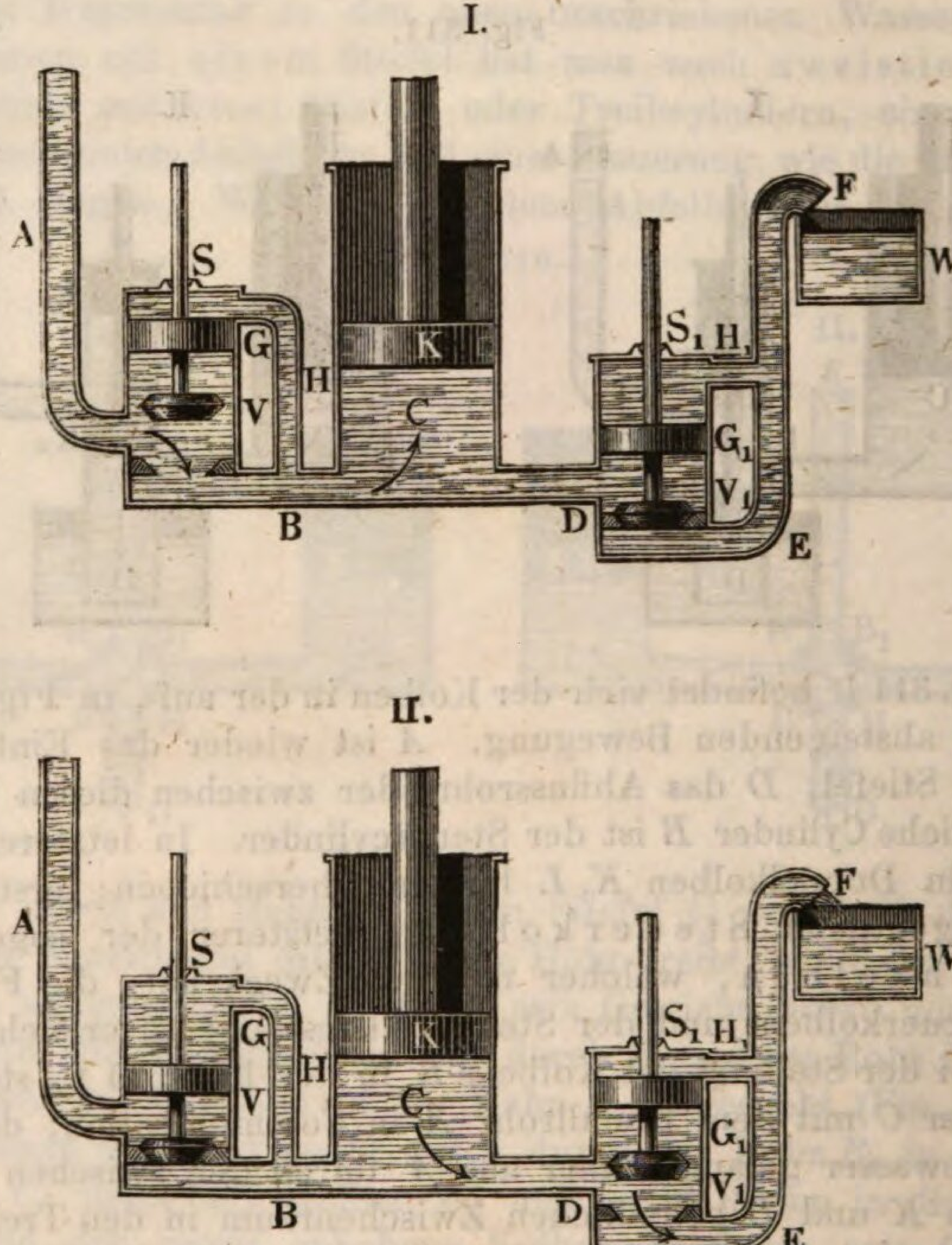
In Fig. 311 I. befindet sich der Kolben in der auf-, in Fig. 311 II. in der absteigenden Bewegung. *A* ist wieder das Einfallrohr, *C* der Stiefel, *D* das Abflussrohr; der zwischen diesen Theilen befindliche Cylinder *B* ist der Steuercylinder. In letzterem lässt sich ein Doppelkolben *K*, *L* hin- und herschieben; ersterer ist der eigentliche Steuerkolben, letzterer der sogenannte Gegenkolben, welcher nur den Zweck hat, die Führung des Steuerkolbens und der Steuerkolbenstange zu erleichtern.

Bei der Stellung des Kolbens *K* in der Fig. 311 I., steht der Cylinder *C* mit dem Einfallrohr *A* in Communication; das Aufschlagewasser gelangt daher aus *A* durch den zwischen beiden Kolben *K* und *L* befindlichen Zwischenraum in den Treibcylinder *C* unter den Kolben und treibt diesen in die Höhe; dasselbe Wasser ist dabei von dem Abfallrohr *D* abgesperrt. Wird dagegen der Kolben *K* in die höchste Stellung K_1 (Fig. 311 II.) umgesteuert, so ist das Aufschlagewasser durch K_1 von dem Treibcylinder *C* abgesperrt; der Kolben sinkt daher durch sein Gewicht herab und treibt das darunter befindliche todte Wasser unter K_1 hinweg in das Unterwasser *D* hinein.

Die Ventilsteuerung ist für die beiden Bewegungsrichtungen des Treibkolbens in der Fig. 312 I. und II. (a. f. S. abgebildet. *A* ist wieder das Einfallrohr, *C* der Treibcylinder oder Stiefel, *K* der Kolben, *B* das zum Stiefel führende, *D* das von demselben in den Abfallkasten *W* abführende Communications-

rohr. Die Ventile sind die Kegelventile V, V_1 mit den zur leichteren Führung derselben angebrachten Gegenkolben G, G_1. In

Fig. 312.

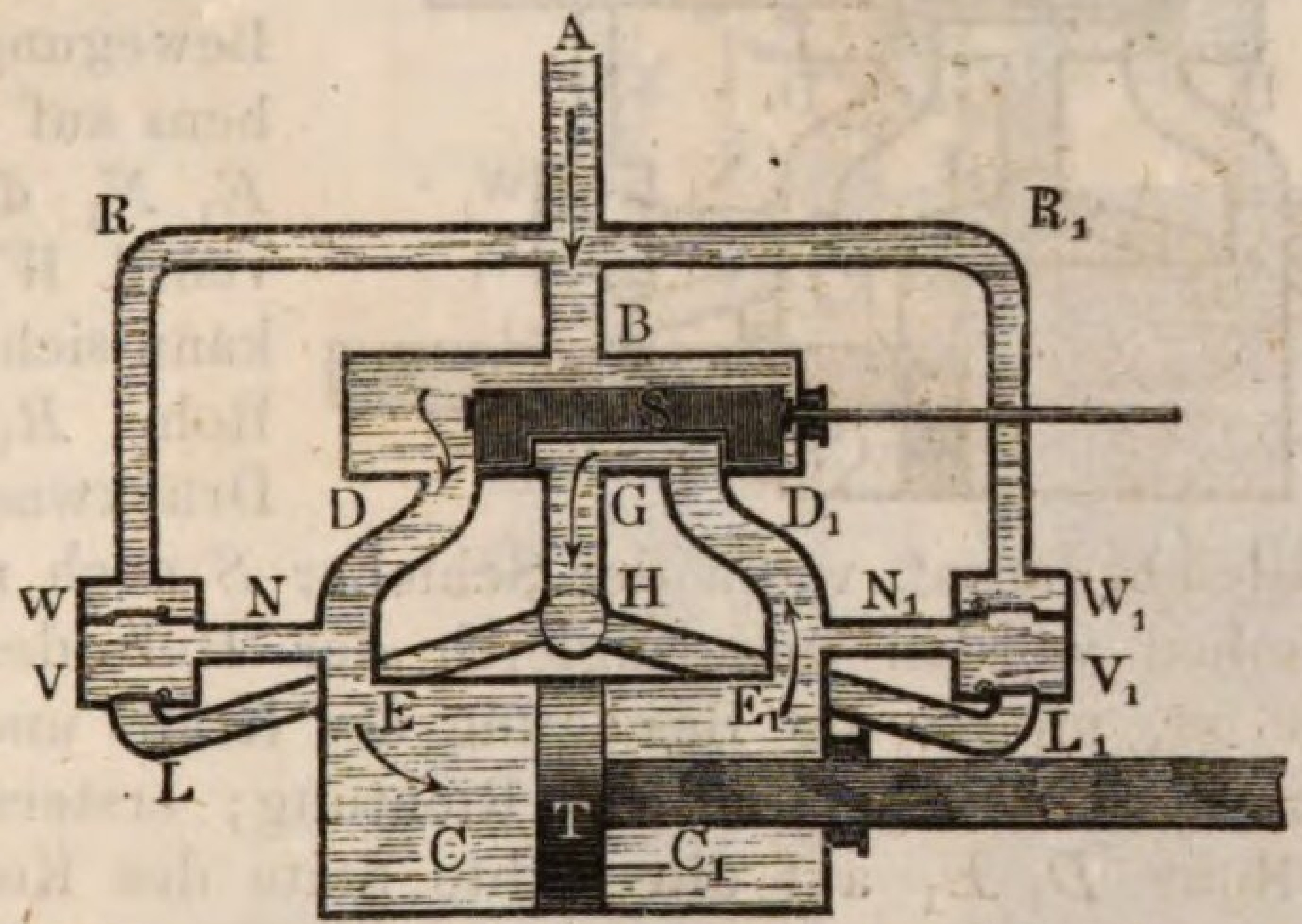


der Stellung des Kolbens, wie sie Fig. 312 I. stattfindet, gelangt das Einfallwasser durch A und das offene Ventil V in C unter den Kolben und drückt diesen in die Höhe, wogegen es durch das geschlossene Ventil V_1 vom Unterwasser W abgesperrt ist. Werden aber die Ventile V, V_1 in die Lage der Fig. 312 II. umgesteuert, so ist das Oberwasser aus A durch das geschlossene Ventil V vom Cylinder C abgesperrt; der Kolben K sinkt nun durch sein Gewicht herab und treibt das unter ihm befindliche todte Wasser durch das offene Ventil V_1 und das Rohr EF in das Unterwasser W fort. Um zu bewirken, dass beide Seiten

der Ventilsteuerung nahe gleichen Druck erhalten und dadurch die Bewegung der Ventile erleichtert werde, ist der Raum oberhalb des Gegenkolbens G durch ein Nebenrohr H mit dem Communicationsrohr B, so wie oberhalb G_1 durch ein Rohr H_1 mit dem Abfallrohr EF in Verbindung gesetzt.

Die Schiebersteuerung endlich ist aus der Fig. 313 zu erkennen, in welcher der Stiefel CC_1 eine liegende Stellung hat.

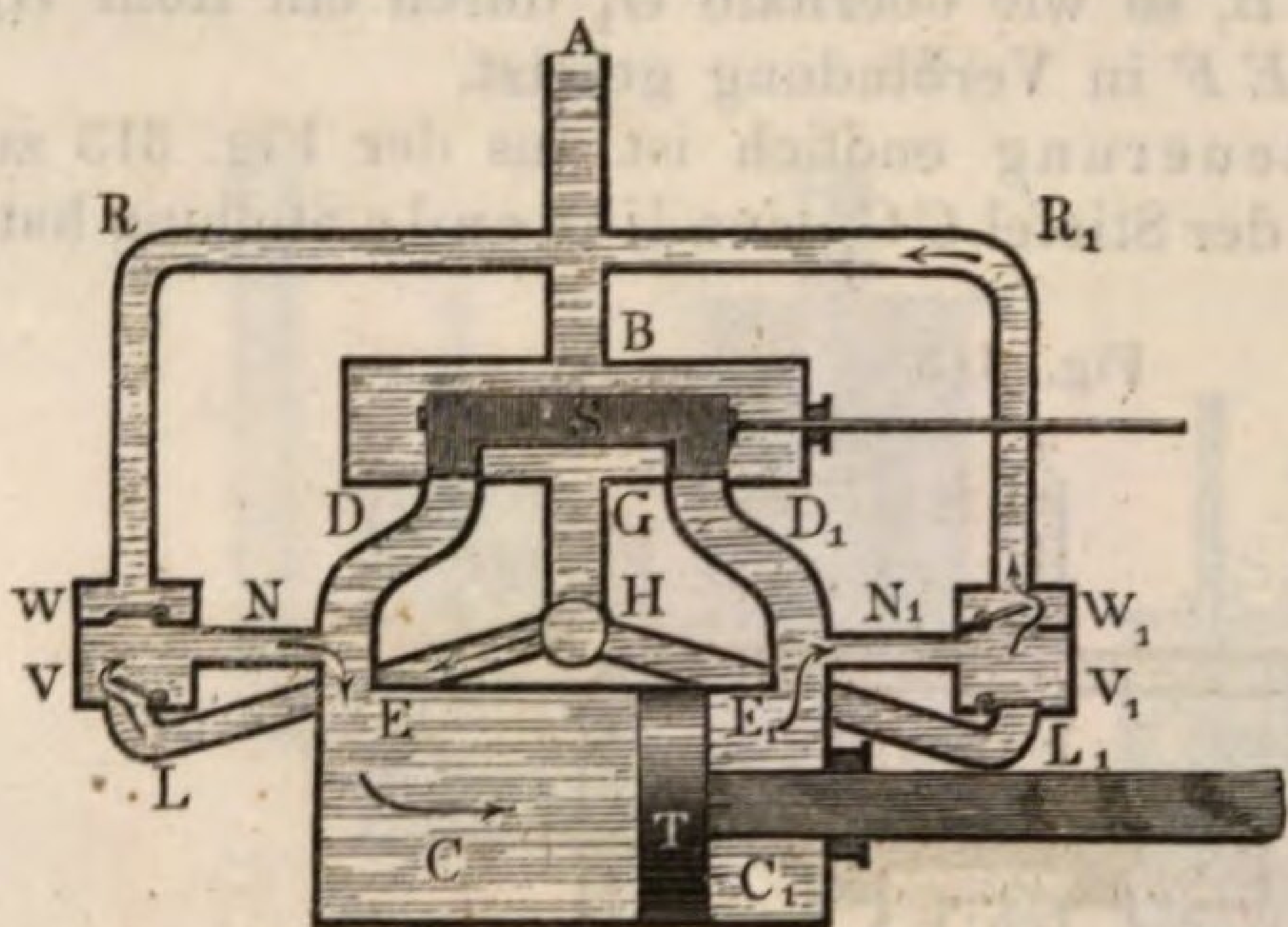
Fig. 313.



A ist das Einfallrohr, B der Schieberkasten, S der Schieber, D, D_1 sind die zum Stiefel CC_1 führenden Communicationsrohre, $GHLL_1$ das Abfallrohr für das todte Wasser, V, V_1 zwei Saugventile, W, W_1 zwei Druckventile. Wenn der Schieber S die Stellung der Figur hat, so strömt das Kraftwasser aus A in die Schieberkammer B, von hier durch DE in den linken Raum C des Cylinders und treibt den Kolben T von links nach rechts vorwärts. Das Wasser, welches vorher gewirkt hatte und sich auf der rechten Seite C_1 des Kolbens befindet, wird durch das Rohr $E_1 D_1$ unter den Schieber S und von hier durch das Austragerohr GH weiter geführt. Wenn der Kolben T sich dem Ende seines Hubes nähert, ist der Schieber S so weit nach links geschoben worden, dass seine Backen die Mündungen D, D_1 der Communicationsrohre DE, $D_1 E_1$ ganz bedecken, folglich auf dem beschriebenen Wege weder Kraftwasser aus A nach C, noch der Rest des todten Wassers aus C_1 nach GH weggeschafft werden kann. Dies ist die Stellung, welche die Fig. 314 (a. f. S.) vor Augen führt. Geht jetzt der Kolben T in Folge seines Beharrungsvermögens noch etwas weiter, so wirkt er offenbar saugend in dem Raume CEN hinter sich und öffnet in Folge hier-

von das Saugventil V. Dasselbe springt auf und lässt so viel Unterwasser aus HL durch NE in den Cylinderraum C, als die Bewegung des Kolbens erfordert. Andererseits drückt das im Raume C_1 befindliche todte Wasser durch die vorwärtsgehende Bewegung des Kolbens auf dem Wege E_1 N_1 das Druckventil W_1 auf und kann sich durch das Rohr R_1 zu dem Druckwasser in A gesellen. Gleich darauf, wenn der Schieber S noch mehr nach links geschoben worden und zugleich der Hub des Kolbens T vollendet ist, nimmt die Bewegung des Kraft- und des todten Wassers die entgegengesetzte Richtung; ersteres gelangt durch das Rohr D_1 E_1 auf die rechte Seite des Kolbens und treibt ihn von rechts nach links; letzteres, von dem Kraftwasser abgesperrt und daher nicht mehr gepresst, wird von dem Kolben durch das Rohr ED unter den Schieber S und von hier durch GH abgeführt. Dass nun, wenn der Schieber gegen Ende des Kolbenhubes mit seinen Backen die Mündungen der Rohre D, D_1 wieder zudeckt, die Ventile V_1 und W in derselben Weise spielen werden, wie es vorhin für V und W_1 gezeigt worden ist, versteht sich von selbst.

Fig. 314.

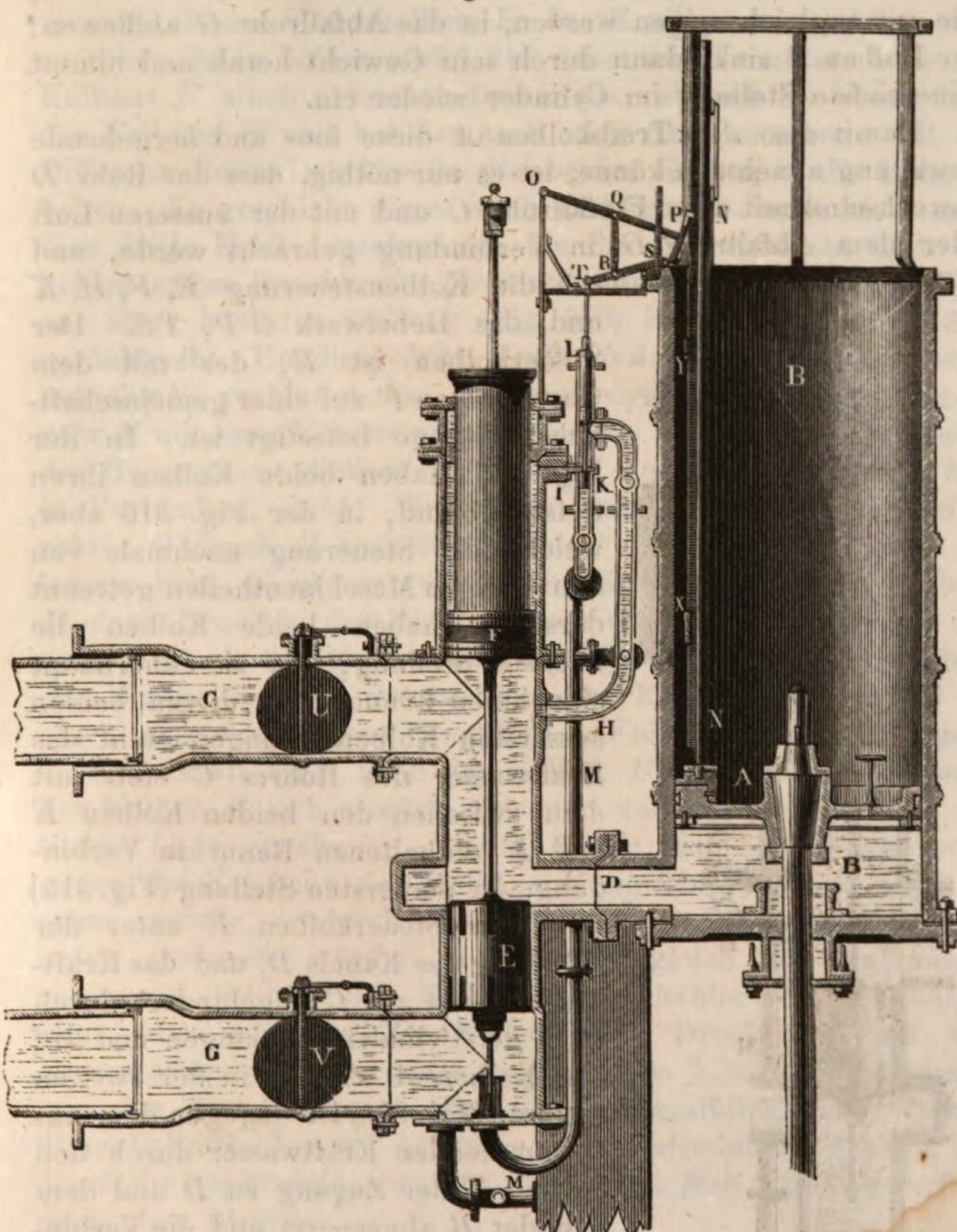


Man sieht, dass die Steuerung die Seele der Wassersäulenmaschinen ist, dass von ihrem Gange die Bewegung der ganzen Maschine vorzugsweise abhängt und daher auf ihre Einrichtung die grösste Sorgfalt verwendet werden muss. Auch ist klar, dass die Steuerung, welcher Art sie auch sein mag, nicht von der Hand des Menschen, sondern durch die Bewegung der Maschine selbst geführt werden muss. Die Art und Weise, wie dieses geschieht, ist bei den verschiedenen Maschinen sehr verschieden, in der Regel aber durch die dazu erforderlichen Hebel, Sperrklinken, Gewichte u. s. w. ziemlich complicirt.

202 **Die einfach wirkende einstiefelige Wassersäulenmaschine**, wie sie in den Bleibergwerken zu Huelgoat in der

Bretagne aufgestellt ist, ist mit ihren einzelnen Theilen der Selbststeuerung in Fig. 315 abgebildet. In dem Treibcylinder *BB*, der oben offen, unten aber geschlossen und bloss für den Durchgang

Fig. 315.

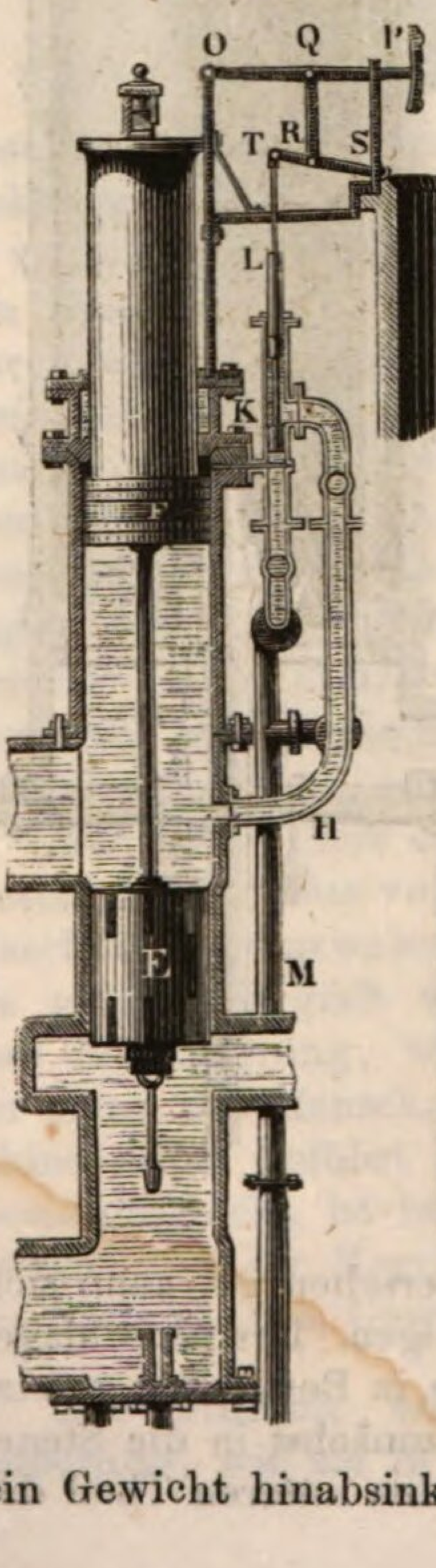


der Kolbenstange mit einer Stopfbüchse versehen ist, kann sich der Kolben *A* wasserdicht auf- und abbewegen. Das Aufschlagewasser, durch dessen Gefälle die Maschine in Bewegung gesetzt wird, gelangt durch das Einfallrohr *C* zunächst in die Steuerung und von hier durch das Rohr *D* in den unteren Theil des

Treibcylinders *B B*. Ist ihm dieser Weg offen, so presst es den Kolben *A* in die Höhe; ist dagegen dieser Zugang abgesperrt, so steht das Wasser des Cylinders, das sich unterhalb des Kolbens befindet, nicht mehr unter Druck, und kann dann, wie wir sogleich zeigen werden, in das Abfallrohr *G* abfliessen; der Kolben *A* sinkt dann durch sein Gewicht herab und nimmt seine tiefste Stellung im Cylinder wieder ein.

Damit also der Treibkolben *A* diese hin- und hergehende Bewegung annehmen könne, ist es nur nöthig, dass das Rohr *D* abwechselnd mit dem Einfallrohr *C* und mit der äusseren Luft oder dem Abfallrohr *G* in Verbindung gebracht werde, und dieses geschieht eben durch die Kolbensteuerung *E*, *F*, *H*, *K* und das Hebelwerk *O P*, *T S*. Der Steuerkolben ist *E*, der mit dem Gegenkolben *F* auf einer gemeinschaftlichen Stange befestigt ist. In der Fig. 315 haben beide Kolben ihren tiefsten Stand, in der Fig. 316 aber, welche die Steuerung nochmals von den übrigen Maschinentheilen getrennt darstellt, haben beide Kolben die höchste Stellung, die sie überhaupt einnehmen können. In diesen beiden äussersten Kolbenstellungen steht das Kraftwasser des Rohres *C* stets mit dem zwischen den beiden Kolben *E* und *F* enthaltenen Raum in Verbindung. In der ersten Stellung (Fig. 315) steht der Steuerkolben *E* unter der Mündung des Kanals *D*, und das Kraftwasser kann aus *C* ungehindert durch *D* in den Cylinder *B* gelangen und auf den Kolben *A* wirken; in der zweiten Stellung (Fig. 316) ist dagegen dem aus *C* kommenden Kraftwasser durch den Kolben *E* der Zugang zu *D* und dem Cylinder *B* abgesperrt und die Verbindung zwischen *B* und *G* hergestellt, so dass das todte Wasser aus dem Cylinder durch den Kanal *D* in das Unterwasser *G* abfliesst und der Kolben *A* durch sein Gewicht hinabsinkt. Es fragt sich also nur noch, auf welche

Fig. 316.



Weise die beiden Kolben *E*, *F* hin- und hergeschoben und die abwechselnden Verbindungen zwischen dem Cylinder einerseits, und den Einfall- und Abfallrohren *C* und *G* andererseits hergestellt werden. Der Gegenkolben *F* hat einen etwas grösseren Durchmesser, als der Steuerkolben *E*; das Kraftwasser, welches stets zwischen ihnen beiden wirkt, übt daher auf die untere Seite des Kolbens *F* einen grösseren Druck aus, als auf die obere Seite des Kolbens *E* und hat demnach stets das Bestreben, mit der Differenz dieser Druckkräfte die beiden Kolben in die Höhe zu heben. Es geschieht dieses auch wirklich, so lange nicht noch eine dritte Kraft hinzukommt, die das Uebergewicht über die beiden ersten Druckkräfte gewinnt und die beiden Kolben *F*, *E* aus ihrer höchsten Stellung (Fig. 316) in die tiefste (Fig. 315) zurücktreibt. Um diese dritte Kraft aus dem Kraftwasser selbst zu entnehmen, verbindet man den Steuercylinder durch ein Nebenrohr *H* mit einer Nebensteuerung, welche in dem höchsten Punkte des Hauptsteuercylinders durch einen engen Kanal *I* (Fig. 315) in Verbindung steht. Wenn nun das Kraftwasser des Einfallrohres *C* durch *H* und den Kanal *I* in den Steuercylinder gelangen kann, so übt es auf den ringförmigen Kopf des Kolbens *F* einen Druck in der Richtung von oben nach unten aus, der grösser ist als der Unterschied der beiden Druckkräfte, welche das Wasser auf die untere Seite des Kolbens *F* und auf die obere Seite des Kolbens *E* ausübt; in Folge dieses Ueberschusses an Druckkraft muss dann der Kolben *F* und mit ihm zugleich der Kolben *E* sich abwärts bewegen und wie in Fig. 315 die tiefste Lage annehmen. Damit dieser von oben nach unten gegen die Kopfseite des Kolbens *F* gerichtete Druck nicht zu gross ausfalle, wodurch die Kolben *F* und *E* zu stark nach unten gestossen würden, und um zugleich an Kraftwasser zu sparen, ist auf den Kolben *F* ein hohler Cylinder aufgesetzt, der nur den Zweck hat, die Druckfläche auf der oberen Seite von *F* zu einer ringförmigen Fläche zu begränzen und den übrigen Raum oberhalb *F* auszufüllen. Der Deckel dieses Cylinders bewegt sich über einer feststehenden Stange, die durch ihr kopfförmig gestaltetes Ende den Hub der Kolben *F*, *E* nach oben begränzt.

Wenn nun das Aufschlagewasser aus *C* durch *H* und *I* in den oberen Theil des Steuercylinders gelangen kann, so drückt es, wie wir bereits gesehen haben, gegen die untere Fläche von *F* etwas stärker als gegen die obere Fläche von *E*; allein da die Ringfläche auf der oberen Seite von *F* immer noch grösse

ist, als die Differenz der beiden genannten Flächen von F und E, so ist der Druck von oben nach unten etwas grösser, als der Druck von unten nach oben; die Kolben F und E bewegen sich daher herab und werden dabei durch einen auf der unteren Seite von E befestigten Stiel gerade dann in ihrer Bewegung gehemmt, wenn durch die tiefste Stellung von E die freie Communication des Kanals D mit dem Einfallrohr C hergestellt ist. Wenn dagegen das Kraftwasser aus C nicht mehr durch H und I in den oberen Theil des Steuercylinders eindringen kann, und dieser Raum auf irgend eine Weise durch das Rohr MM mit der freien Luft oder mit dem Unterwasser G in Verbindung gesetzt wird, so hört damit zugleich jeder Druck des Wassers gegen die Ringfläche des Kopfes F auf; der Druck gegen die untere Fläche von F hat dann das Uebergewicht über den Druck gegen die kleinere obere Seite von E, und die Kolben F, E bewegen sich so weit aufwärts, bis ihr Hub durch den Kopf der Leitstange begränzt ist und sie in die höchste Stellung (Fig. 316) angelangt sind, wo E den Zugang des Kraftwassers zu dem Cylinder B absperrt. Die Steuerung des Kraftwassers durch das Nebenrohr H und den Kanal I in den oberen Theil des Hauptsteuercylinders wird nun einfach auf folgende Weise bewirkt.

In einem kleinen, zwischen H und dem engen Kanal I aufgestellten Cylinder befinden sich zwei durch eine gemeinschaftliche Stange mit einander verbundene kleine Kolben L und K, von denen der erstere nach Art der Taucher- oder Mönchskolben durch eine Stopfbüchse des Cylinders hindurchgeht. Durch eine hin- und hergehende Bewegung dieser Kolben kommt der untere K bald unter den Kanal I zu stehen, wie in Fig. 315, bald über denselben, wie in Fig. 316. In der ersteren Stellung communicirt das Kraftwasser aus C durch H und I frei mit dem oberen Theile des Steuercylinders und kann auf den oberen Ring von F wirken, in der anderen Stellung (Fig. 316), ist dem Kraftwasser dieser Weg versperrt, dagegen die Verbindung des oberen Theiles des Steuercylinders mit dem Unterwasser G durch das Rohr I und das Rohr M hergestellt. Die hin- und hergehende Bewegung dieser beiden kleinen Kolben L und K aber wird auf folgende Weise durch den Treibkolben A selbst bewirkt.

Auf dem Treibkolben A ist eine Stange NN befestigt, die sich mit demselben auf- und abbewegt und mit zwei kleinen Daumen X, Y versehen ist, von denen der eine auf der vorde-

ren, der andere auf der hinteren Seite der Stange *NN* aufsitzt. Bei der auf- und absteigenden Bewegung dieser Stange *NN* wirken die Daumen *X*, *Y* abwechselnd auf ein Hebelsystem *OPST* ein, welches dann seinerseits wieder die Kolben *L*, *K* hebt oder niederdrückt. Der eine Hebel *OP* hat nämlich seinen Drehpunkt in *O* und endigt in ein Zirkelstück *P*, welches an seinen beiden Enden zwei Knöpfe hat. Der zweite Hebel *TRS* ist durch die Stange *QR* mit dem ersten scharnierartig verbunden, hat seinen Drehpunkt in *S* und ist an seinem Ende *T* ebenfalls durch ein Gelenk mit der Stange des kleinen Kolbens *L* verbunden.

Die Fig. 315 stellt die Stellung der einzelnen Maschinentheile dar, welche sie einnehmen, wenn der Kolben *A* im Begriffe ist, durch den Druck des Kraftwassers in die Höhe zu steigen; die Kölbchen *K*, *L* haben ihren tiefsten Stand, das Kraftwasser aus *C* wirkt durch *H* und *I* auf die ringförmige Kopffläche des Gegenkolbens *F* und erhält durch diesen Ueberdruck die Kolben *F* und *E* in ihrer tiefsten Lage. Das Kraftwasser gelangt also aus *C* durch *D* in *B* unter den Treibkolben *A* und drückt diesen in die Höhe, wogegen die Steuerkolben *F* und *E* ihren Stand nicht verändern und stehen bleiben. Wenn der Kolben *A* seinen Hub beinahe vollendet hat, fasst der Daumen *X* den Knopf, der auf dem oberen Ende des Zirkelstücks *P* sitzt und hebt damit diesen Bogen *P* in die Höhe. Der Hebel *PO* dreht sich dabei um *O* aufwärts, der Punkt *Q* und damit auch die Stange *QR* und der Hebel *TRS* gehen in die Höhe, und die beiden Kölbchen *L* und *K* werden soweit gehoben, wie es die Fig. 316 anzeigt. Von nun an hört der Druck des Kraftwassers auf die obere Ringfläche von *F* auf, und das oberhalb dieser Fläche im Steuercylinder befindliche Wasser kann durch *I* unter *K* durch das Rohr *M* einfach abfliessen; jetzt überwiegt der Druck des Kraftwassers, das sich zwischen den Kolben *F* und *E* befindet, auf der grösseren unteren Seite von *F* den Druck gegen die obere Seite von *E* und treibt diese beiden Kolben sofort in die höchste Stellung, wie sie in der Fig. 316 angezeigt ist. Das Wasser, welches sich unter dem Treibkolben *A* (Fig. 315) befindet, wird nun nicht mehr gepresst, da es durch den Kolben *E* vom Kraftwasser *C* abgesperrt ist; es fliesst durch *D* in das Unterwasser *G* ab, während der Kolben *A* durch sein eigenes Gewicht und das Gewicht derjenigen Theile, die mit ihm verbunden sind, heruntersinkt. Wenn der Treibkolben *A* beinahe seinen tiefsten Stand erreicht hat, er-

greift der Daumen Y den unteren Knopf des Zirkelstücks P, drückt es herab und bringt so die Stange QR nebst der bei T aufgehängten Stange des Kölbchens L zum Niedergange. Die beiden Kölbchen K und L werden hierdurch wieder in ihre tiefste Lage (Fig. 315) gebracht, das Kraftwasser aus C durch H und I wieder zu der oberen Ringfläche des Gegenkolbens F zugelassen, die beiden Steuerkolben E und F wieder in ihre tiefste Stellung (Fig. 315) zurückversetzt, und so durch Zuführung des Kraftwassers unter den Treibkolben A dieser wieder in die Höhe getrieben. Auf diese Weise wiederholt sich das Spiel der Maschine ununterbrochen von selbst, und es ist nur nöthig, dafür zu sorgen, dass das Kraftwasser ohne Unterlass in genügender Menge durch das Einfallrohr C der Maschine zugeführt werde.

Zur Regulirung des Ganges dieser Wassersäulenmaschine dienen zwei Klappenventile U und V, von denen das eine, U, in dem Einfallrohr, das andere in dem Abfallrohr G angebracht ist. Je nachdem man diese Ventile mehr oder weniger schliesst, entstehen Verengungen in den Rohren, welche auf den auf- und absteigenden Gang des Treibkolbens A verzögernd wirken und es gestatten, dass der Kolben diejenige Geschwindigkeit annehme, welche die vortheilhafteste ist. Ausserdem aber lassen sich die beiden Daumen X, Y verstellen, und auch hierdurch ist ein Mittel an die Hand gegeben, auf den Gang der Maschine einzuwirken. Um dieselbe in Stillstand zu versetzen, braucht man nur zwei Hähne zu schliessen, von denen der eine sich in dem Rohre H, der andere im Rohre M befindet; es wird hierdurch bewirkt, dass die Kolben E, F sich weder auf- noch abbewegen können, sondern an der Stelle stehen bleiben, wo sie sich beim Schliessen dieser Hähne eben befinden; ja es würde das Schliessen eines dieser Hähne den beabsichtigten Zweck schon erreichen. Soll die Maschine wieder in Thätigkeit versetzt werden, so werden natürlich die beiden Hähne wieder geöffnet.

Die Durchbrechungen, welche man sowohl oben als unten in dem Kolben E bemerkt, sollen verhindern, dass die Verbindung zwischen der Mündung D des Cylinders und dem Einfallrohr C oder dem Kraftwasser einerseits, und zwischen derselben Mündung D und dem Unterwasser G andererseits zu plötzlich hergestellt und wieder unterbrochen werde, wodurch offenbar heftige Stösse entstehen und die Maschinentheile einer schnellen Abnutzung ausgesetzt sein würden. Wenn nämlich

der Steuerkolben E bei seiner absteigenden Bewegung an der Mündung D vorbeigeht, beginnt schon das Kraftwasser durch die oberen Spalten dieses Kolbens in das Rohr D und den Treibcylinder B einzutreten; dasselbe tritt immer stärker ein, je mehr der Kolben E heruntersteigt und die freien Oeffnungen seiner Spalten grösser werden, bis mit dem Eintritt des Kolbens in seine tiefste Lage (Fig. 315) die Mündung D dann frei ist und das Kraftwasser mit voller Kraft in den Treibcylinder einströmen kann. Dasselbe ist der Fall, wenn beim Aufsteigen des Kolbens E das Kraftwasser abgesperrt und das todte Wasser des Cylinders in das Unterwasser abgeführt werden soll.

Wenn der Kolben E an der Mündung D vorbeigeht, so erleidet er einen starken Seitendruck von dem in D enthaltenen Wasser. Damit er nun nicht durch diesen Druck zu stark gegen die Wand des Steuercylinders gedrückt werde und dadurch eine grosse Reibung verursache, hat man diesen Cylinder der Mündung D gegenüber rund herum ausgekehlt. Auf diese Weise verbreitet sich das in D enthaltene Wasser frei um den Kolben E herum und übt auf seinen ganzen Umfang an allen Stellen einen gleichen Druck aus; der Kolben wird daher weder gegen die eine, noch gegen die andere Seite der Wand des Steuercylinders angepresst, und bewegt sich auf und ab, ohne an dieser Wand eine grössere Reibung zu erleiden, als wenn der Druck des Wassers nicht vorhanden wäre.

In den silberhaltigen Bleibergwerken zu Huelgoat sind zwei solche Wassersäulenmaschinen nebeneinander aufgestellt, die durch ein Gefälle von 186 Fuss Höhe betrieben werden. Der Treibkolben A einer jeden Maschine sitzt auf einer Stange, welche durch den Boden des Cylinders B hindurchgeht und in verticaler Verlängerung bis in einen Schacht hinabreicht, um daselbst eine Pumpe in Bewegung zu setzen. Diese Pumpe hebt das Wasser aus dem Schachte bei jedem Hube auf eine Höhe von 715 Fuss. Wenn dagegen der Kolben und die lange Kolbenstange, welche auf die Pumpe wirkt, herabsinkt, so haben sie keine weitere Nutzarbeit auszuführen; um daher das bedeutende Gewicht dieser Theile einigermaassen zu äquilibriren und zu verhüten, dass durch ein zu schnelles Heruntersinken des Kolbens und des Pumpengestänges die Maschinentheile gefährdet werden, hat man den Treibcylinder BB nicht in dem Niveau der unterirdischen Galerie aufgestellt, in welchem das Wasser des Schachtes und das Unterwasser der Röhre G abfliesst, sondern 44 Fuss tiefer. Die Höhe des Kraftwassers beträgt daher 230

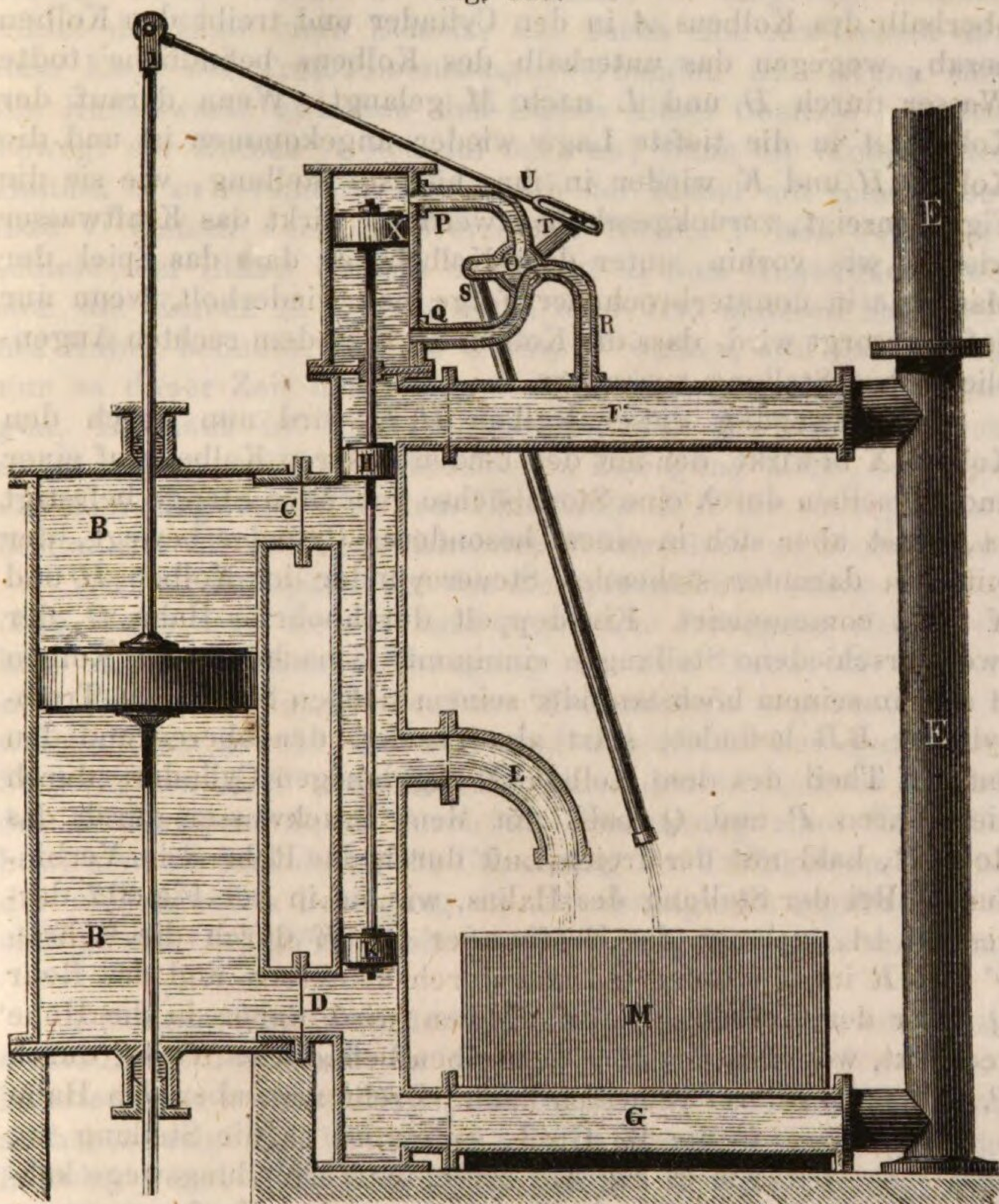
Fuss, und das todte Wasser des Cylinders *BB* fliesst nicht von selbst in das Unterwasser ab, sondern es muss erst durch den herabsinkenden Treibkolben *A* auf eine Höhe von 44 Fuss bis in das Abfallrohr *G* und zum Unterwasser hinauf gehoben werden. Indem man daher den herabsinkenden Treibkolben nöthigt, das todte Wasser auf diese Höhe von 44 Fuss zu heben, schafft man einen künstlichen Widerstand, der die abwärts gerichtete Bewegung des Kolbens bedeutend mässigt. Indessen ist dieser Widerstand nicht als einen ganz nutzlosen Arbeitsverlust anzusehen, wie es etwa bei den durch die Verengung der Leitröhren erzeugten Widerständen der Fall ist; denn wenn auch die Summe aller in der Maschine vorhandenen Widerstände dadurch vergrössert wird, so ist damit doch zugleich auch eine entsprechende Vergrösserung der Betriebskraft verbunden, da ja die Höhe des Gefälles ebenfalls um 44 Fuss zunimmt.

Die ausgezeichneten Wassersäulenmaschinen zu Huelgoat, welche mit einer vorzüglichen Regelmässigkeit ohne Stösse ganz sanft arbeiten, machen nahe zwei Drittel der ganzen Wasserkraft des bedeutenden Gefälles nutzbar.

203 **Die doppelt wirkende Wassersäulenmaschine.** Wir haben bereits gesehen, dass sich die doppelt wirkende Wassersäulenmaschine von der einfach wirkenden im Wesentlichen nur dadurch unterscheidet, dass bei ihr sowohl die auf- als die abgehende Bewegung des Kolbens durch den Druck des Wassers bewirkt wird, und daher das Kraftwasser nicht, wie es bei der einfach wirkenden Maschine der Fall war, bloss unter dem Kolben wirkt, sondern abwechselnd unter und über demselben seinen Druck ausüben muss. Die Fig. 317 zeigt die Einrichtung einer solchen doppelt wirkenden Maschine mit einer Kolbensteuerung. Der Treibcylinder *BB* steht durch die beiden Mündungen *C*, *D* mit dem Steuercylinder, und dieser wieder durch die Röhren *F*, *G* mit dem Einfallrohr *EE* in Verbindung. In dem Steuercylinder lassen sich die zwei Kolben *H*, *K*, die durch eine gemeinschaftliche Stange mit einander verbunden sind, auf- und abbewegen. In der Stellung, welche diese Kolben in der Figur haben, gelangt das Kraftwasser aus *EE* durch das Rohr *G* und die Mündung *D* in den unteren Theil des Treibcylinders *BB*, und übt daher auf die untere Seite des Kolbens *A* einen Druck aus in der Richtung von unten nach oben; gleichzeitig steht das oberhalb des Kolbens *A* befindliche Wasser durch die Mündung *C* mit dem Austragerohr *L* in Verbindung und ist

daher dem Druck der Wassersäule entzogen. Unter dem Drucke des Oberwassers in EE muss daher der Kolben A in

Fig. 317.



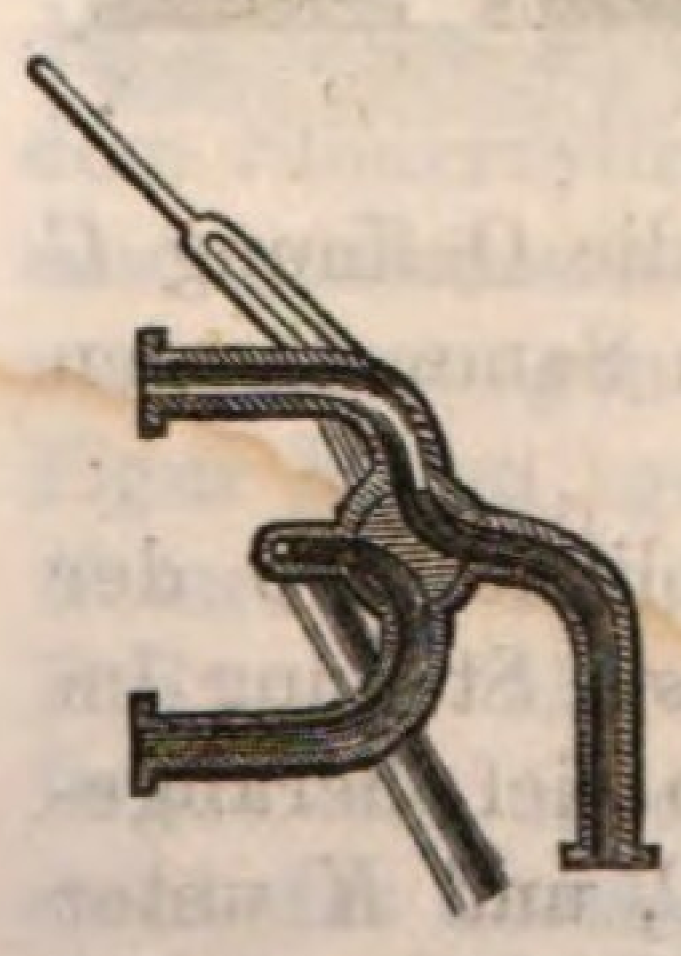
die Höhe steigen und das todte Wasser durch die Oeffnung C in das Abfallrohr L treiben, von wo es in den Sammelkasten M gelangt und dann weiter abfliesst.

Nehmen wir nun an, dass in dem Augenblicke, wo der Kolben A seinen Hub vollendet und seine höchste Stellung im Cylinder angenommen hat, die Kolben H, K so tief herabgeschoben werden, dass H unter der Mündung C, und K unter der Mündung D zu stehen kommt, so steht die Mündung C mit

dem Rohre *F* und dem Einfallrohr *EE*, die Mündung *D* dagegen mit dem Abfallrohr *L* und der äusseren Luft in Verbindung. Das Kraftwasser gelangt nun aus *EE* durch *F* und *C* oberhalb des Kolbens *A* in den Cylinder und treibt den Kolben herab, wogegen das unterhalb des Kolbens befindliche todte Wasser durch *D* und *L* nach *M* gelangt. Wenn darauf der Kolben *A* in die tiefste Lage wieder angekommen ist und die Kolben *H* und *K* wieder in ihre höchste Stellung, wie sie die Figur anzeigt, zurückgeschoben werden, wirkt das Kraftwasser wieder, wie vorhin, unter dem Kolben, so dass das Spiel der Maschine in ununterbrochener Folge sich wiederholt, wenn nur dafür gesorgt wird, dass die Kolben *H*, *K* in dem rechten Augenblicke ihre Stellung verändern.

Die Bewegung dieser Kolben *H*, *K* wird nun durch den Kolben *X* bewirkt, der mit den beiden anderen Kolben auf einer und derselben durch eine Stopfbüchse gehenden Stange befestigt ist, sonst aber sich in einem besonderen Cylinder bewegt, der mit dem darunter stehenden Steuercylinder der Kolben *H* und *K* nicht communicirt. Ein doppelt durchbohrter Hahn *O*, der zwei verschiedene Stellungen einnimmt, je nachdem der Kolben *A* sich in seinem höchsten oder seinem tiefsten Stande im Treibcylinder *BB* befindet, setzt abwechselnd den oberen und den unteren Theil des dem Kolben *X* zugehörigen Cylinders durch die Röhren *P* und *Q* bald mit dem Druckwasser durch das Rohr *R*, bald mit der freien Luft durch das Rohr *S* in Verbindung. Bei der Stellung des Hahns, wie sie in der Fig 317 dargestellt ist, gelangt das Kraftwasser aus *E* durch die Röhren *F* und *R* in den Hahn *O*, und durch denselben und das Rohr *Q* unter den Kolben *X*; der Kolben wird daher in die Höhe gedrückt, wogegen das über demselben befindliche Wasser durch *P*, *O*, *S* nach *M* frei abfliessen kann. Dreht man aber den Hahn *O* um 90 Grad, so nimmt er die Stellung an, wie es Fig. 318 zeigt; die Verbindungswege kehren sich hierdurch um, das Kraftwasser gelangt aus *E* durch *F*, *R*, *O*, *P* oberhalb des Kolbens *X* und treibt diesen wieder herab, wogegen das unter dem Kolben *X* befindliche Wasser nun den Rückweg antritt und durch *Q*, *O*, *S* nach *M* gelangt. Da die Bewegung des Kolbens *X* sich den Kolben *H*, *K* mittheilt, so ist der Zweck des Umsteuerns erreicht, wenn nur der Hahn *O* in den rechten Augenblicken jedes-

Fig. 318.

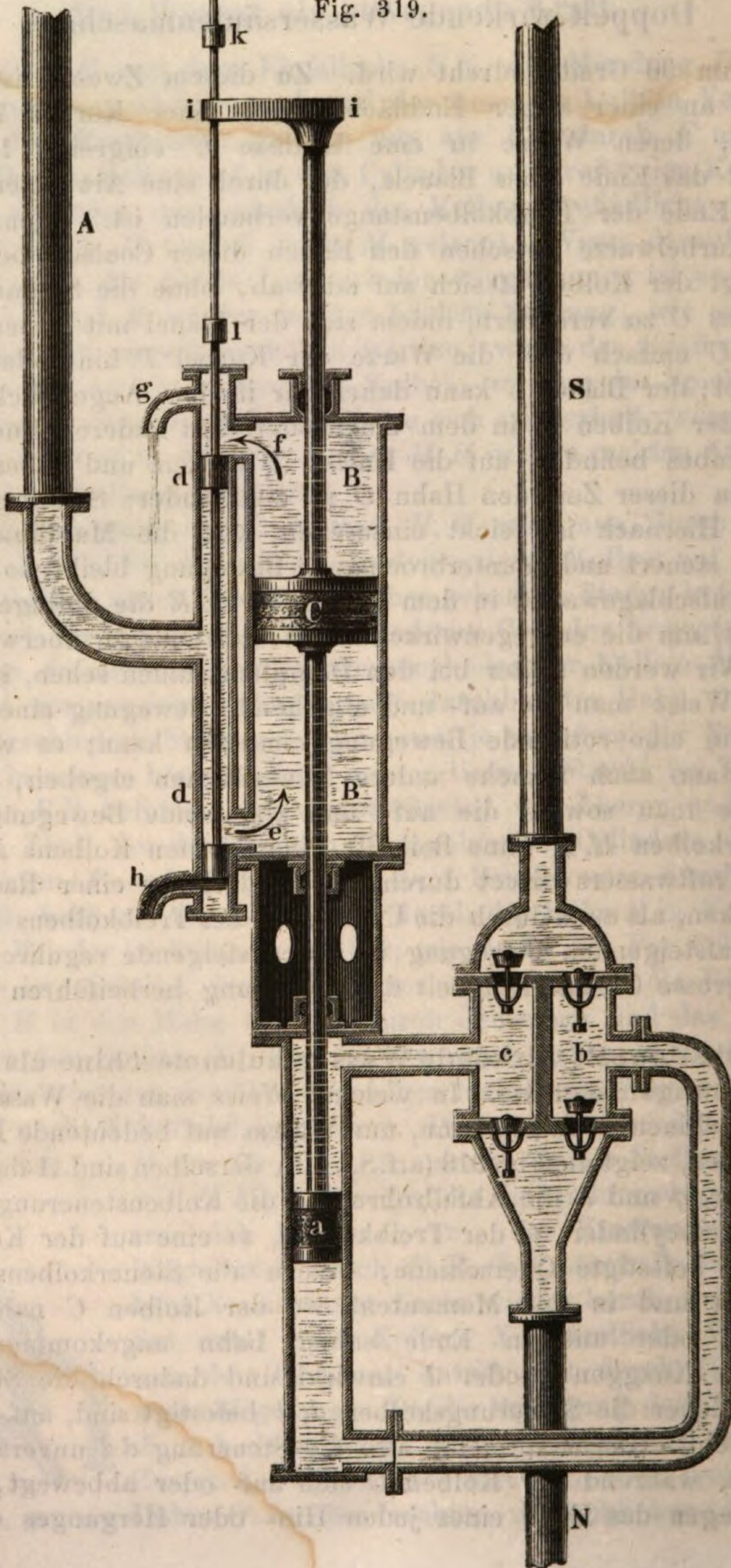


mal um 90 Grad gedreht wird. Zu diesem Zwecke ist letzterer an einer seiner Endflächen mit einer Kurbel *T* versehen, deren Warze in eine Coulisse *U* eingreift; letztere bildet das Ende eines Bläuels, der durch eine Art Gelenk mit dem Ende der Treibkolbenstange verbunden ist. Wenn sich die Kurbelwarze zwischen den Enden dieser Coulisse befindet, bewegt der Kolben *A* sich auf oder ab, ohne die Stellung des Hahnes *O* zu verändern, indem sich der Bläuel mit seiner Coulisse *U* einfach über die Warze der Kurbel *T* hin- oder herschiebt; der Bläuel *U* kann daher nur in dem Augenblicke, wo sich der Kolben *A* in dem einen oder dem anderen Ende seines Hubes befindet, auf die Kurbel *T* wirken, und daher auch nur zu dieser Zeit den Hahn *O* in eine andere Stellung bringen. Hiernach ist leicht einzusehen, wie die Maschine sich selbst steuert und ununterbrochen in Bewegung bleibt, so lange das Aufschlagewasser in dem Einfallrohr *EE* die nöthige Kraft besitzt, um die entgegenwirkenden Widerstände zu überwinden.

Wir werden später bei den Dampfmaschinen sehen, in welcher Weise man die auf- und abgehende Bewegung eines Kolbens in eine rotirende Bewegung umsetzen kann; es werden sich dann auch manche andere Mechanismen ergeben, durch welche man sowohl die auf- und abgehende Bewegung der Steuerkolben *H*, *K* ohne Beihülfe eines dritten Kolbens *N* und des Kraftwassers direct durch die Umdrehung einer Radwelle bewirken, als auch durch die Umsetzung des Treibkolbens *A* aus der aufsteigenden Bewegung in die absteigende reguliren und eine grosse Gleichförmigkeit der Bewegung herbeiführen kann.

Die doppelt wirkende Wassersäulenmaschine als Wasserhebungsmaschine. In welcher Weise man die Wassersäulenmaschinen benutzen kann, um Wasser auf bedeutende Höhen zu heben, zeigt die Fig. 319 (a. f. S.). In derselben sind *A* das Einfallrohr, *g* und *h* die Abfallrohre, *dd* die Kolbensteuerung, *BB* der Treibcylinder, *C* der Treibkolben, *ii* eine auf der Kolbenstange befestigte Querschiene, welche die Steuerkolbenstange umfasst und in den Momenten, wo der Kolben *C* nahe am oberen oder unteren Ende seiner Bahn angekommen ist, auf die Knaggen *k* oder *l* einwirkt und dadurch die Stange, auf welcher die Steuerungskolben *d*, *d* befestigt sind, auf- oder abschiebt. Hiernach bleibt also die Steuerung *dd* unverändert stehen, während der Kolben *C* sich auf- oder abbewegt, und nur gegen das Ende eines jeden Hin- oder Herganges dieses 204

Fig. 319.



Kolbens wird die Steuerung *dd* verstellt und damit zugleich, wie es im vorigen Paragraphen erläutert worden ist, die aufsteigende Bewegung des Treibkolbens in die absteigende verwandelt oder umgekehrt.

Die Kolbenstange geht durch eine Stopfbüchse durch den Boden des Treibcylinders *BB* hindurch und bewegt einen Pumpenkolben *a* in dem unter dem Cylinder *BB* aufgestellten Pumpenstiefel; der Durchmesser des Kolbens *a* ist weit kleiner als der des Treibkolbens *C*. Wie man leicht sieht, ist die Pumpe eine doppelt wirkende Saug- und Druckpumpe, bei welcher das Saugrohr *N* bis in das zu hebende Unterwasser hinabreicht und *S* das Steigrohr ist; die in den Ventilkasten *c* und *b* befindlichen unteren Ventile sind Saug-, die oberen dagegen Druckventile.

Geht nun bei der Stellung der Kolben *dd*, wie sie die Figur zeigt, unter dem Drucke des Aufschlagewassers, welches bei *e* in den Cylinder *BB* einströmt, der Kolben *C* in die Höhe, so saugt der Pumpenkolben *a* aus der Ventilkammer *b* das Wasser auf; durch die hierdurch entstehende Verdünnung hebt sich das untere Ventil und der Druck der atmosphärischen Luft presst das Unterwasser durch das Rohr *N* in die Kammer *b*. Gleichzeitig übt der aufsteigende Kolben *a* auf das in der Kammer *c* befindliche Wasser einen Druck aus, wodurch das untere Ventil geschlossen bleibt, das obere aufgestossen und das Wasser in das Steigrohr *S* hineingepresst wird. Wenn darauf umgekehrt der Kolben *C* und mit ihm der Pumpenkolben *a* herabgeht, so wird in der Kammer *c* gesaugt, daher das obere Druckventil dieser Kammer geschlossen, das Saugventil geöffnet und neues Wasser aus *N* in diese Kammer gebracht; gleichzeitig wird das unter dem Kolben *a* befindliche Wasser in *b* gepresst und durch das sich öffnende obere Druckventil in das Steigrohr *S* gedrückt.

Je grösser das Verhältniss der Querschnitte der beiden Kolben *C* und *a* ist, desto grösser ist auch das Verhältniss zwischen den Höhen des gehobenen Wassers im Steigrohre *S* und des Kraftwassers im Rohre *A*, wenn von Reibungs- und sonstigen Widerständen abgesehen wird.

Zwischen Reichenhall und Rosenheim in Oberbaiern sind mehrere derartige Wassersäulenmaschinen, die sämmtlich von Reichenbach construirt sind, aufgestellt. Dieselben heben die Salzsoole von Reichenhall auf eine bedeutende Höhe und führen sie über Berge und auf manchen Umwegen 30 Stunden weit zu

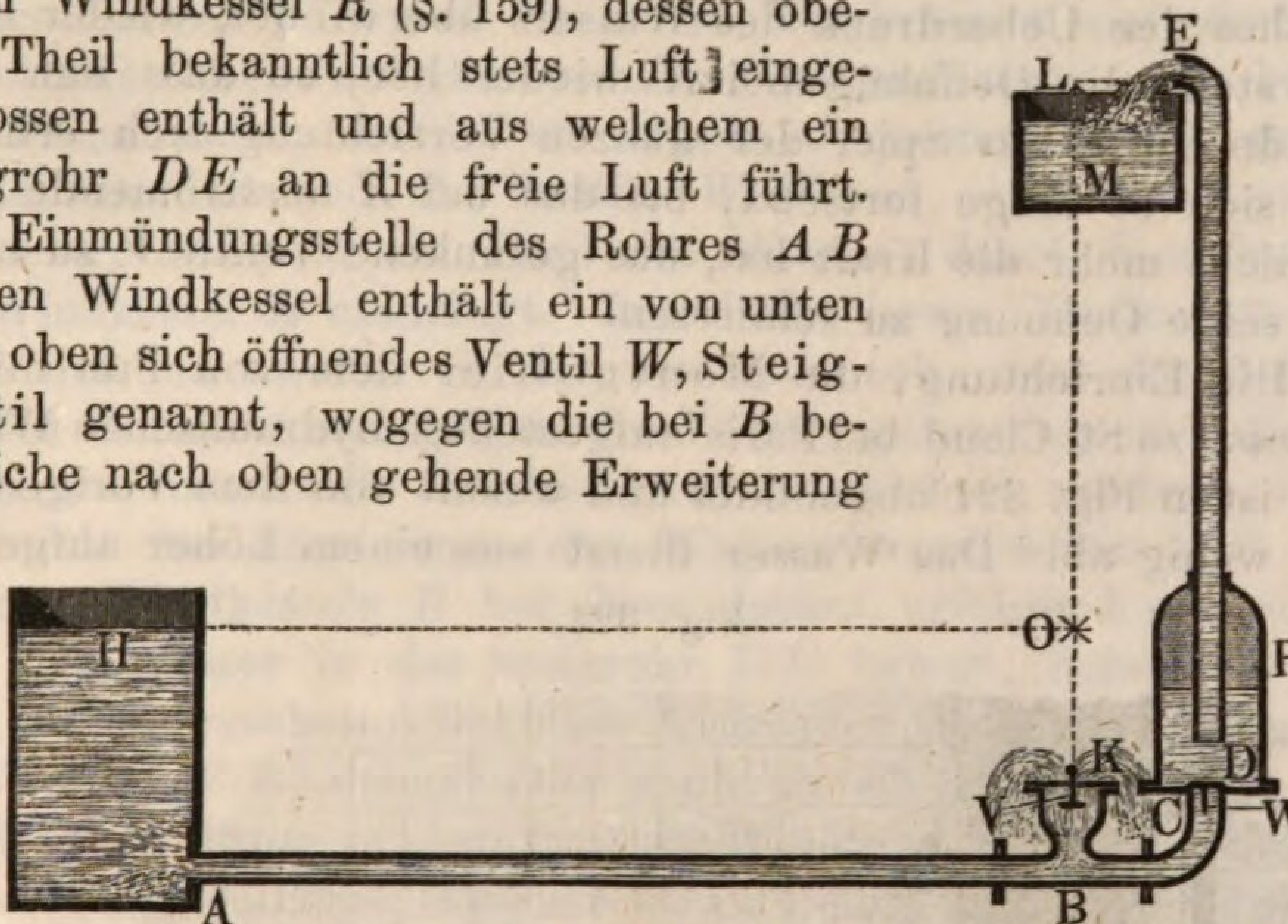
den Siedehäusern. Bei einer dieser Maschinen beträgt die Höhe des Kraftwassers 140 Fuss, die Höhe, auf welche die Salzsoole gehoben wird, 346 Fuss, was einer Süsswassersäule von 397 Fuss entspricht. Der Durchmesser des Treibkolbens ist $20\frac{1}{2}$, der des Pumpenkolbens 10 Zoll. Die Maschine liefert nahe 70 Procent der gesammten von dem Aufschlagewasser ausgeführten Arbeit. Bei einer anderen dieser Maschinen, die jedoch etwas verschieden von jener construirt ist, wird die Salzsoole sogar auf eine Höhe von 1218 Fuss gehoben, was der Hebung einer Süsswassersäule auf 1460 Fuss Höhe gleichkommt. Wenn die Wassersäulenmaschinen richtig construirt sind und durch ein hohes Gefälle betrieben werden, liefern sie einen Nutzeffect von 0,75 bis 0,80 der gesammten Arbeit des verbrauchten Wassers.

205 **Der hydraulische Widder oder der Stossheber**, von Montgolfier im Jahre 1796 erfunden, dient dazu, um kleinere Wassermengen ohne irgend einen Rad- oder einen Kolbenmechanismus auf eine mässige Höhe zu heben. Um das Princip, auf welchem derselbe beruht, zu verstehen, denken wir uns, dass das Wasser eines Gefälles nur durch ein Rohr von bestimmter Länge, welches in dem tiefsten Punkte des Gefälles einmündet, abfliessen könne. Wenn dieses Rohr an seinem unteren Ende offen ist, fliesst das Wasser mit einer Geschwindigkeit aus, welche von der Höhe des Gefälles und von der Reibung an der Röhrenwand abhängig ist. Schliesst man nun, während das Wasser ausfliesst, das untere Ende des Rohres plötzlich, so muss alles darin enthaltene und in Bewegung begriffene Wasser sofort still halten, folglich seine Arbeit auf die sperrenden Wände übertragen und auf diese einen sehr bedeutenden Druck ausüben. Wenn nun mit diesem Ausflussrohre ein Steigrohr in Verbindung gesetzt wird und dieses an seiner Einmündungsstelle mit einem Ventile versehen ist, welches sich nur in der Richtung von unten nach oben öffnet, so wird offenbar in dem Augenblicke, wo das in dem Ausflussrohre ausfliessende Wasser gehemmt und von Seiten desselben ein Druck auf die umgebenden Wände ausgeübt wird, das Ventil in dem Steigrohr aufgestossen und das Wasser auf eine gewisse Höhe in dasselbe hineingepresst werden. Wenn man dann den Ausfluss des Wassers aus dem ersten Rohre wieder herstellt, aber gleich darauf denselben wieder unterbricht, so wird das Wasser das Ventil von Neuem aufstossen, in einer gewissen Menge in das Steigrohr eindringen, und die schon in diesem Rohr vorhandene Wasser-

menge etwas höher heben. Durch Wiederholung dieses Verfahrens kann man es offenbar dahin bringen, dass das Wasser in dem Steigrohre bis zu einer gewissen Gränze immer höher steigt und in demselben die Gefällhöhe bedeutend überschreitet.

Die Fig. 320 wird dieses noch näher erläutern. Das Wasser des Behälters *H* hat das Bestreben, durch das Rohr *AB* abzufliessen; letzteres mündet bei *C* in einen Windkessel *R* (§. 159), dessen oberer Theil bekanntlich stets Luft eingeschlossen enthält und aus welchem ein Steigrohr *DE* an die freie Luft führt. Die Einmündungsstelle des Rohres *AB* in den Windkessel enthält ein von unten nach oben sich öffnendes Ventil *W*, Steigventil genannt, wogegen die bei *B* befindliche nach oben gehende Erweiterung

Fig. 320.



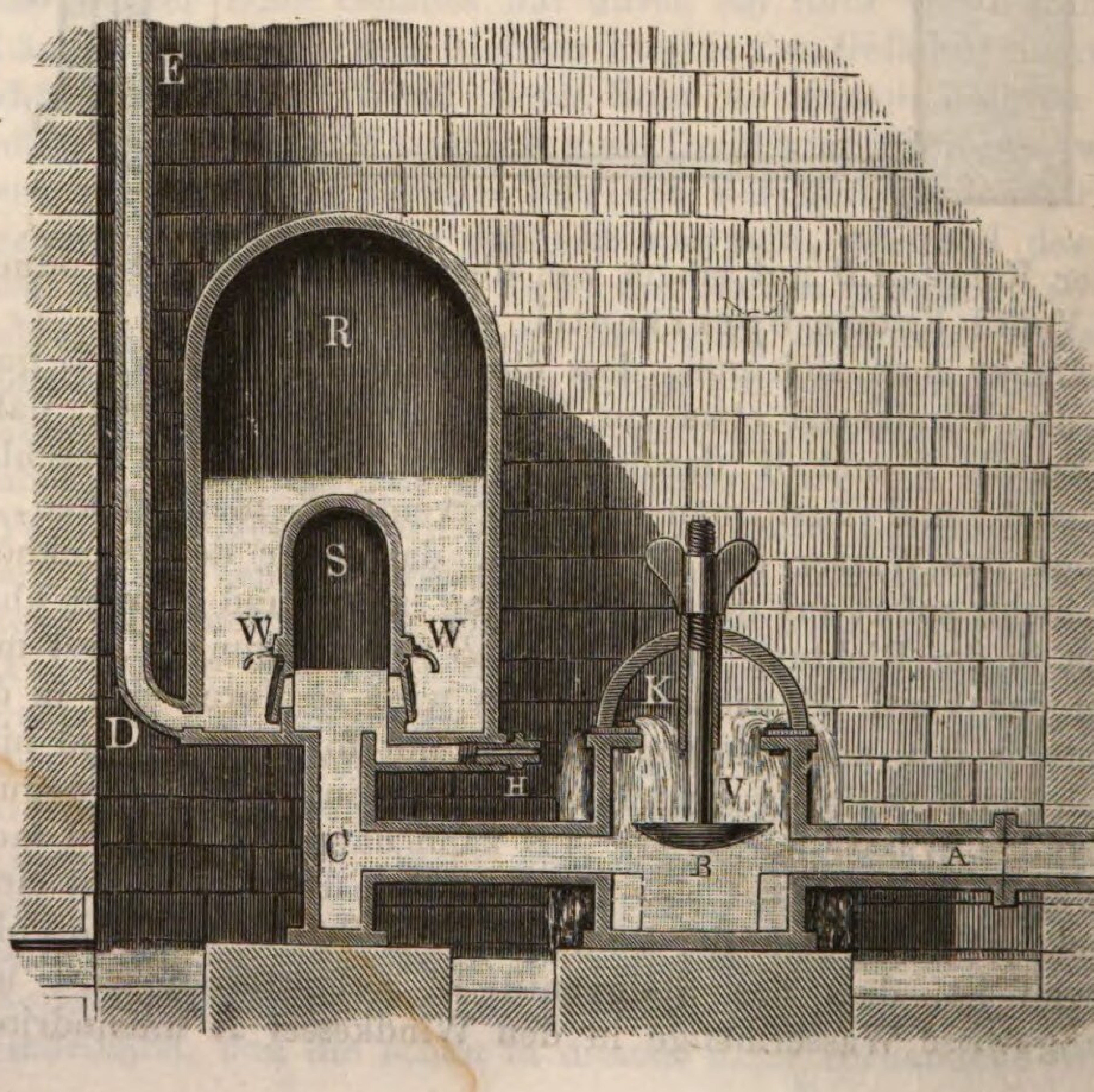
K der Röhre *AB* mit einem von oben nach unten sich öffnenden Ventil *V*, dem Sperrventil, versehen ist.

Denkt man sich nun, dass die Röhren *AB* und *DE* ganz und der Windkessel etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt, dabei die Ventile *V* und *W* durch den Druck des Wassers geschlossen sind, und lässt man das Sperrventil *V* niedersinken, so springt das Wasser der Röhre *AB*, das unter der Druckhöhe *OB* steht, sofort aus der Ventilöffnung heraus und gelangt überhaupt in der Richtung von *A* nach *B* in Bewegung. Lässt man dann das Ventil *V* wieder frei, so wird es durch das in der Richtung *BK* ausspringende Wasser mit fortgerissen und hierdurch seine Oeffnung verschlossen. Das in starker Bewegung begriffene Wasser der Röhre *AB* kann dann bei *K* nicht mehr entweichen, es erleidet also einen heftigen Stoss und übt einen Druck auf alle Theile der Röhrenwand *ABCW* aus. Die Folge hiervon ist, dass das Steigventil *W* aufgestossen wird und eine gewisse Wassermenge in den Windkessel *R* hineindringt.

Hierdurch wird aber die darin enthaltene Luft comprimirt und bei dem Bestreben derselben, sich wieder auszudehnen, das Ventil *W* geschlossen und das Wasser des Windkessels zum Theil in das Steigrohr *DE* hineingepresst; war also dieses Rohr bereits voll Wasser, so wird ein Theil desselben bei *E* in den Abflussbehälter *M* ausgestossen. Ist dieses geschehen, so kommt in dem nächsten Augenblicke darauf das Wasser in *AB* zur Ruhe; allein nun fällt das Sperrventil *V* durch sein Gewicht, welches den Ueberdruck des Wassers überwindet, wieder herab und stellt die Oeffnung bei *K* wieder her, so dass nun ohne fremde Hülfe das Spiel der ganzen Vorrichtung sich erneuert und sich so lange fortsetzt, bis das bei *K* ausströmende Wasser nicht mehr die Kraft hat, das gesunkene Ventil *V* zu heben und seine Oeffnung zu schliessen.

Die Einrichtung, die Montgolfier dem von ihm in dem Schlosse zu St. Cloud bei Paris aufgestellten hydraulischen Widder gab, ist in Fig. 321 abgebildet und weicht von dem Vorigen nur sehr wenig ab. Das Wasser fliesst aus einem höher aufgestell-

Fig. 321.



ten Behälter, der durch Quellen gespeist wird, durch das Rohr AB in den Widder. Hier angekommen fliesst es durch die Oeffnung K des Ventils V nach aussen ab und nimmt dabei an Geschwindigkeit immer mehr zu. In demselben Maasse aber, als seine Geschwindigkeit wächst, nimmt auch der Druck gegen die untere Fläche des Ventils V zu, und bald wird diese Geschwindigkeit so gross, dass der Druck des Wassers im Stande ist, das Ventil zu heben und sich den ferneren Ausgang bei K zu verschliessen. Da nun die ganze Wassermasse eine ziemlich bedeutende Geschwindigkeit erhalten hat und nicht mehr bei K entweichen kann, so übt sie einen so grossen Druck gegen die Röhrenwand und die Ventile WW aus, dass diese aufgestossen werden und ein Theil des Wassers durch dieselben in den Windkessel R eindringt. Innerhalb dieses Windkessels befindet sich ein zweiter S, der bewirken soll, dass die Heftigkeit des Wasserstosses gegen die Ventile gebrochen und dieselben gegen vorschnelle Beschädigungen gesichert werden. Dass die durch das Einströmen des Wassers verdichtete Luft des äusseren Windkessels R bei ihrer darauf erfolgenden Ausdehnung das Wasser in das Steigrohr DE bringt, haben wir bereits vorhin gesehen. Bei dem Andringen des Wassers gegen die Ventile WW dringt aber zugleich ein anderer Theil aus der Röhre C direct in den inneren Windkessel S und trifft hier auf Luft, die dadurch, dass sie zusammengedrückt wird, einen grossen Theil des Stosses aufnimmt und so die nachtheiligen Wirkungen des Gesammtstosses von den Ventilen WW ableitet. Wenn die Luft des inneren Windkessels S sich gleich darauf wieder ausdehnt, drängt sie das Wasser in dem Rohre A zurück und zwar dem Drucke des Aufschlagewassers entgegen; das Wasser fährt dann in Folge seiner erlangten Geschwindigkeit noch kurze Zeit fort, sich in dieser Richtung zu bewegen, so dass sogar für einen Augenblick der Druck desselben kleiner wird, als der äussere Luftdruck. In Folge dieses inneren Saugens fällt dann das Ventil V wieder herab, das Wasser dringt sofort wieder aus der Ventilöffnung K nach aussen, und dasselbe Spiel wiederholt sich so lange von selbst, als das Aufschlagewasser die zur Hebung des Sperrventils V erforderliche Druckkraft behält.

Um die Luft wieder zu ersetzen, welche sich unter dem höheren Drucke in den Windkesseln R und S nach und nach dem Wasser imprägnirt und dann mit dem Wasser durch das Steigrohr DE fortgeführt wird, ist am Boden des Windkessels R ein kleines Mundstück H angebracht, welches mit einem

kleinen von aussen nach innen sich öffnenden Ventile versehen ist. Wenn nun in Folge der rückgängigen Bewegung des Wassers in dem Knierohre *CA* der innere Druck des Wassers kleiner wird als der äussere Luftdruck, so öffnet sich das Venti *H* und eine kleine Menge atmosphärischer Luft strömt von aussen direct in den Windkessel *S* ein. Diese bei jedem Stosse des Widders in *S* eindringende Luftmenge macht aber, dass eine entsprechende Menge Luft jedesmal, so oft die Ventile *WW* offen sind, in den äusseren Windkessel *R* eindringt, so dass bedie Windkessel immer die zum regelmässigen Gange der Maschine erforderlichen Luftmengen behalten.

Wenn ein Stossheber gut eingerichtet ist, so kann er 60 Procent der gesammten Wasserkraft nutzbar verwenden.

7. Maschinen zur Bewegung der Luft.

206 In vielen Fällen ist es erforderlich, die Luft oder auch andere Gase in Bewegung zu setzen, sei es, um aus einem Behälter diese Gase ganz oder theilweise zu entfernen, oder auch um eine grössere Menge Gas in einen gegebenen Raum hineinzubringen; bald handelt es sich darum, die Luft mit grosser Geschwindigkeit ausströmen zu lassen, z. B. bei den Gebläsen, um die Verbrennung grosser Mengen Brennmaterialien auf das Lebhafteste zu unterhalten und dadurch hohe Hitzegrade zu erzeugen, oder auch um Staub oder sonstige leichte Gegenstände wegzublasen; in noch anderen Fällen, z. B. in Bergwerken, müssen künstliche Luftzüge hergestellt oder schädliche Gase entfernt werden. Alles dieses geschieht mehr oder weniger durch besondere Maschinen, von denen wir die wichtigeren näher zu erörtern haben werden.

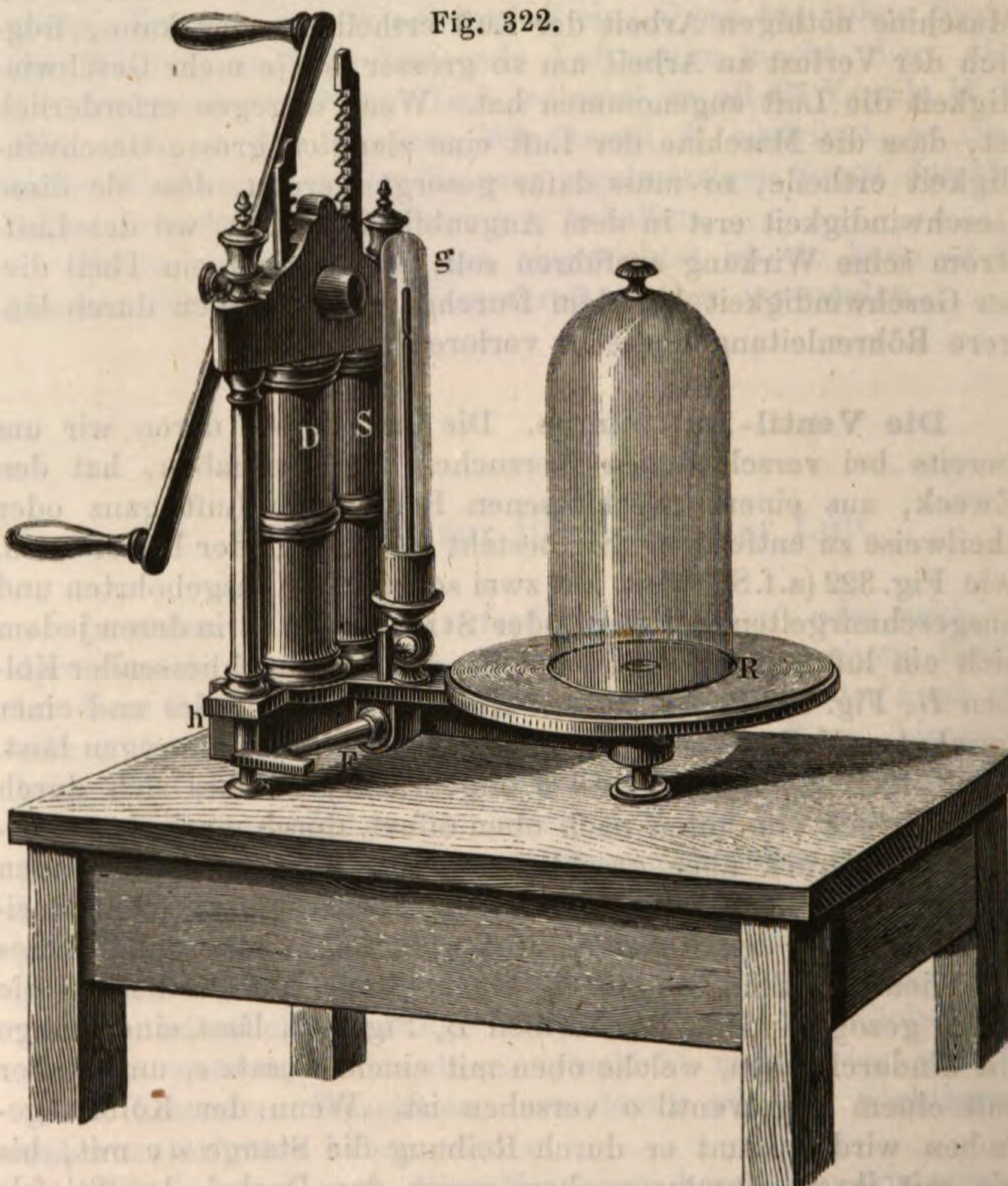
Wie indessen auch diese Maschinen beschaffen sein mögen, sie werden stets die Einrichtung haben müssen, dass die von ihnen in Bewegung gesetzte Luft zur Vermeidung von grossen Reibungswiderständen nur eine geringe Geschwindigkeit habe. Auch muss dafür Sorge getragen werden, dass die Luft bei ihrer Bewegung weder Kniee, noch winklige Röhrentheile oder zu grosse Verengungen zu passiren hat, weil hierdurch stets ein Verlust an Geschwindigkeit und an nutzba-

rer Arbeit herbeigeführt wird. Wenn die Maschine nur dazu dient, eine gewisse Menge Luft von der Stelle zu bringen, so muss dieses derart geschehen, dass die Geschwindigkeit der aus der Maschine kommenden Luft so klein als möglich sei, da diese Geschwindigkeit nur auf Kosten der zum Betriebe der Maschine nöthigen Arbeit der Luft ertheilt werden kann, folglich der Verlust an Arbeit um so grösser ist, je mehr Geschwindigkeit die Luft angenommen hat. Wenn dagegen erforderlich ist, dass die Maschine der Luft eine ziemlich grosse Geschwindigkeit ertheile, so muss dafür gesorgt werden, dass sie diese Geschwindigkeit erst in dem Augenblicke erhalte, wo der Luftstrom seine Wirkung ausführen soll, damit nicht ein Theil dieser Geschwindigkeit bei dem Durchgange derselben durch längere Röhrenleitungen wieder verloren gehe.

Die Ventil-Luftpumpe. Die Luftpumpe, deren wir uns 207
bereits bei verschiedenen Versuchen bedient haben, hat den Zweck, aus einem geschlossenen Raume die Luft ganz oder theilweise zu entfernen. Sie besteht aus einem, oder besser noch, wie Fig. 322 (a. f. S.) zeigt, aus zwei sorgfältigst ausgebohrten und ausgeschmirgelten Cylindern oder Stiefeln *D*, *S*, in deren jedem sich ein luftdicht an die Wand des Stiefels anschliessender Kolben *B*, Fig. 323 (a. S. 417), mit Hülfe eines Zahnrades und einer gezahnten Kolbenstange abwechselnd auf- und abbewegen lässt. Im Kolben *B* ist ein Ventil *d* angebracht, welches sich durch einen Druck von unten nach oben öffnet, durch einen entgegengesetzten Druck aber geschlossen wird. Ein jeder der beiden Stiefel *D*, *S* kann mit dem auf den Teller aufgesetzten Recipienten durch den Kanal *C* in Verbindung treten, und dieses geschieht wirklich, so oft in einem Stiefel der Kolben in die Höhe gezogen wird. Der Kolben *B*, Fig. 323, lässt eine Stange *ca* hindurchgehen, welche oben mit einem Ansatz *c*, unten aber mit einem Kegelventil *a* versehen ist. Wenn der Kolben gehoben wird, nimmt er durch Reibung die Stange *ac* mit, bis sie mit ihrem Ansatze *c* oben gegen den Deckel des Stiefels anstösst; von nun an bleibt die Stange *ca* stehen, die konische Oeffnung unter *a* frei lassend, während der Kolben über sie hingleitet; geht aber bald darauf der Kolben wieder herab, so nimmt er sofort die Stange *ca* mit herab, verschliesst dadurch die Oeffnung *a* und gleitet dann wieder über *ca* herunter, bis er unten angekommen mit seiner unteren ebenen Fläche sich vollkommen auf den ebenen Boden des Stiefels aufsetzt.

Aus der Fig. 323 ist nun leicht zu sehen, wie mittelst einer solchen Luftpumpe die Luft aus dem Recipienten *D* fortgeschafft werden kann. Zieht man nämlich mit Hülfe der Zahnstange den Kolben *B* in die Höhe, so ist das Ventil *a* offen, dagegen

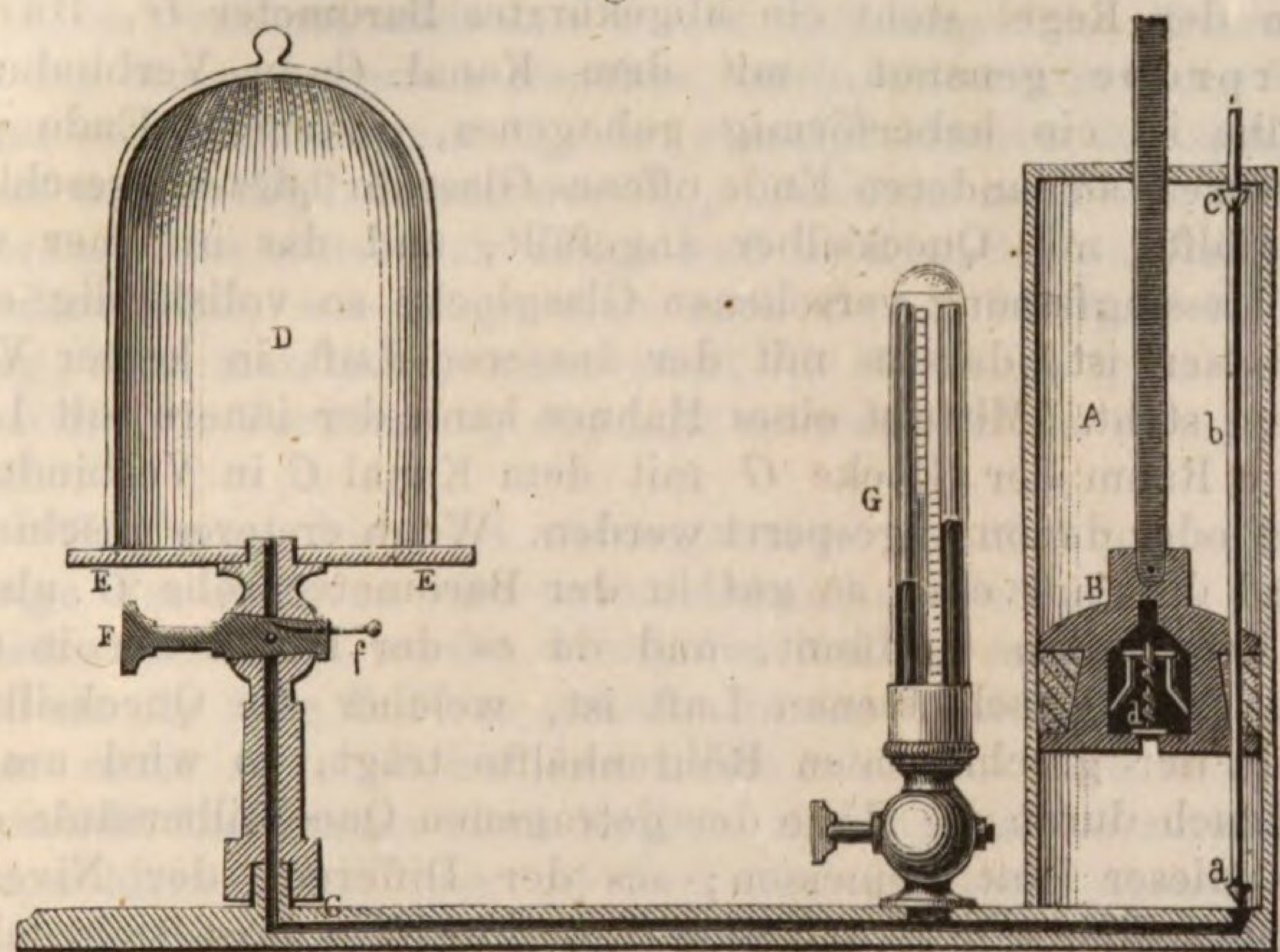
Fig. 322.



das Ventil *d* geschlossen. Wenn nun der unterhalb des Tellers *EE* angebrachte Hahn *F* die richtige Stellung hat, so steht der Raum des Recipienten *D* mit dem unteren Theile des Stiefels *A* durch das Rohr *C* in Verbindung, wogegen jede Verbindung dieser Theile mit der äusseren Luft abgesperrt ist. In dem Maasse, als der Kolben *B* höher steigt, dehnt sich daher die in *D* und *C* enthaltene Luft immer mehr aus, bis sie,

wenn der Kolben seinen höchsten Punkt erreicht hat, ihr Volumen beinahe um den Inhalt des ganzen Stiefels vergrössert hat. Wenn man darauf den Kolben wieder herabdrückt, schliesst sich das Ventil *a*, und die Luft, die sich im Stiefel befindet, wird

Fig. 323.



immer mehr zusammengepresst. Da in Folge hiervon ihre Expansivkraft ebenfalls wächst, so kommt bald der Punkt, wo dieselbe grösser ist, als der Druck der äusseren Luft; sie stösst jetzt das Ventil *d* im Kolben auf, entweicht durch den Kolben in den oberen Theil des Stiefels *A* und gelangt von hier durch einige Oeffnungen des Deckels ins Freie. Der Kolben wird darauf wieder aufgezogen, das Ventil *d* schliesst sich, *a* öffnet sich und derselbe Vorgang wiederholt sich von Neuem. Ganz dasselbe findet statt für jeden der beiden Stiefel, nur mit dem Unterschiede, dass, wenn der Kolben in dem einen Stiefel in die Höhe geht und daher saugend wirkt, der Kolben in dem anderen Stiefel herabgeht und die vorhin gesaugte Luft durch das Kolbenventil abgeführt wird.

Der Hahn *F* hat ausser der einen geraden Durchbohrung, welche während der Wirksamkeit der Pumpe den Inhalt des Recipienten mit dem Kanal *C* verbindet, noch einen zweiten schräg gebohrten Kanal, der während des Auspumpens durch einen Stöpsel *f* verschlossen gehalten wird. Ist die Verdünnung der Luft im Recipienten weit genug vorgeschritten, so dreht

man den Hahn F um und hebt die Verbindung des Recipienten mit dem Kanal C auf. Wenn man dann etwas Luft in den Recipienten hineinlassen will, so braucht man nur den Stift f ein wenig herauszuziehen, um damit der äusseren Luft durch den schrägen Kanal des Hahnes Einlass zu verschaffen.

In der Regel steht ein abgekürztes Barometer G, Barometerprobe genannt, mit dem Kanal C in Verbindung. Dasselbe ist ein heberförmig gebogenes, an einem Ende geschlossenes, am anderen Ende offenes Glasrohr, dessen geschlossene Hälfte mit Quecksilber angefüllt, und das in einer mit einer Messingfassung versehenen Glasglocke so vollständig eingeschlossen ist, dass es mit der äusseren Luft in keiner Verbindung steht. Mittelst eines Hahnes kann der innere mit Luft gefüllte Raum der Glocke G mit dem Kanal C in Verbindung gesetzt oder davon abgesperrt werden. Wenn ersteres geschieht, so wird die Luft eben so gut in der Barometerprobe G als in dem Recipienten verdünnt, und da es der Druck der in der Glocke G eingeschlossenen Luft ist, welcher die Quecksilbersäule in der geschlossenen Röhrenhälfte trägt, so wird umgekehrt auch durch die Höhe der getragenen Quecksilbersäule der Druck dieser Luft gemessen; aus der Differenz der Niveaus des Quecksilbers in den beiden Röhrenhälften lässt sich daher auch der Grad der Verdünnung der Luft des Recipienten erkennen. Aus §. 39 ist bekannt, dass der Druck der atmosphärischen Luft durchschnittlich einer Quecksilbersäule von 28 pariser Zoll Höhe das Gleichgewicht hält; wenn daher ein Gas nur eine Quecksilbersäule von 1, 2, 3 ... Zoll Höhe im Gleichgewicht zu halten vermag, so ist der Druck desselben auch nur $^1/_{28}$, $^2/_{28}$, $^3/_{28}$. . . des Luftdrucks; mithin, da der Druck und die Dichtigkeit eines eingeschlossenen Gases in gleichem Verhältnisse zu- und abnehmen, ist die Dichtigkeit jenes Gases auch nur $^1/_{28}$, $^2/_{28}$, $^3/_{28}$. . . der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft.

Es ist leicht einzusehen, dass bei jedem Kolbenspiele die Verdünnung der Luft um so grösser ist, je grösser der Inhalt des Stiefels ist im Verhältnisse zu dem Inhalte des Recipienten. Nehmen wir an, dass der Inhalt des Stiefels unterhalb des in seinem höchsten Punkte stehenden Kolbens ein Drittel sei von dem Gesammtinhalte des Recipienten und des Kanals C, und ziehen wir den Kolben von seiner tiefsten Stellung bis in seine höchste in die Höhe, so vergrössert sich das Volumen der Luft des Recipienten D und des Kanals C in dem Verhältnisse von 3 zu 4; nach dem Mariotte'schen Gesetze (§. 43) ist

dann die Expansivkraft oder der Druck der Luft nur $^3/_4$ des anfänglichen Druckes. Wenn darauf der Kolben herabgeht, so wird in diesem Drucke nichts geändert, da die Luft des Recipienten und des Kanals vom Stiefel abgeschlossen ist. Ein jedes Kolbenspiel reducirt also den Druck dieser Luft auf $^3/_4$ ihres vorigen Druckes; nach dem ersten Kolbenspiel ist dieser Druck $^3/_4$ des atmosphärischen Druckes, nach dem zweiten nur $^3/_4$ von dem vorigen, also nur $^9/_{16}$ des atmosphärischen Druckes, nach dem dritten Kolbenspiel nur $^{27}/_{64}$ desselben u. s. w. Man sieht hieraus, dass stets noch einige Luft in dem Recipienten zurückbleiben wird, wie lange man auch das Kolbenspiel fortsetzen mag, dass man aber, wenn sonst die Maschine ganz vollkommen ist, die Verdünnung der Luft so weit treiben kann, als man will.

Wir haben bis jetzt vorausgesetzt, dass bei jedem Niedergange des Kolbens alle unter demselben befindliche Luft des Stiefels genöthigt werde, durch das Kolbenventil zu entweichen und an die freie Luft zu gehen. In der Wirklichkeit ist dieses aber nicht zu erreichen, es bleibt vielmehr stets eine kleine Quantität Luft unter dem Kolben in dem Stiefel zurück. Die Folge hiervon ist, dass bei dem Aufzuge des Kolbens weniger Luft aus dem Recipienten in den Stiefel gelangt, als wenn jene Luft nicht im Stiefel zurückgeblieben wäre, weil diese bei dem Aufzuge des Kolbens sich ausdehnt und einen ansehnlichen Raum im Stiefel einnimmt. Man gewahrt diesen schädlichen Einfluss der zurückgebliebenen Luft in demselben Maasse mehr, als der Druck der Luft in dem Recipienten abnimmt, ja es kommt endlich der Punkt, wo der Druck der zurückgebliebenen Luft bei ihrer Ausdehnung in dem Stiefel so gross und gleichzeitig der Druck der Luft im Recipienten so gering wird, dass diese nicht mehr vermag, den Druck der ersteren zu überwinden und in den Stiefel einzudringen. Ist dieser Punkt erreicht, so hört offenbar jede weitere Verdünnung im Recipienten auf, woraus folgt, dass man bei der Construction einer Luftpumpe alle Sorgfalt darauf verwenden muss, um den sogenannten schädlichen Raum des Stiefels, in welchem jene kleine Quantität Luft zurückbleibt, so klein als möglich zu machen und ein möglichst vollständiges Anschliessen der unteren Kolbenfläche an dem Boden des Stiefels zu erreichen.

Die Luftpumpe, eine Erfindung des Bürgermeisters von Magdeburg, Otto von Guerike, bestand anfangs nur aus einem einzigen Stiefel, und wird auch jetzt noch nicht selten

als einstiefelige Maschine construirt. Theils um die Arbeit rascher von Statten gehen zu lassen, theils aber auch, um das Heraufziehen des Kolbens, wobei der auf die obere Kolbenfläche wirkende Druck der äusseren Luft zu überwinden ist, durch das Heruntergehen eines anderen Kolbens zu erleichtern, verfertigt man jetzt gewöhnlich zweistiefelige Luftpumpen, deren Stiefel mit einem einzigen, anfangs horizontal verlaufenden, dann aber vertical aufsteigenden und in der Mitte des Tellers *EE* ausmündenden gemeinschaftlichen Kanal *C* in Verbindung stehen.

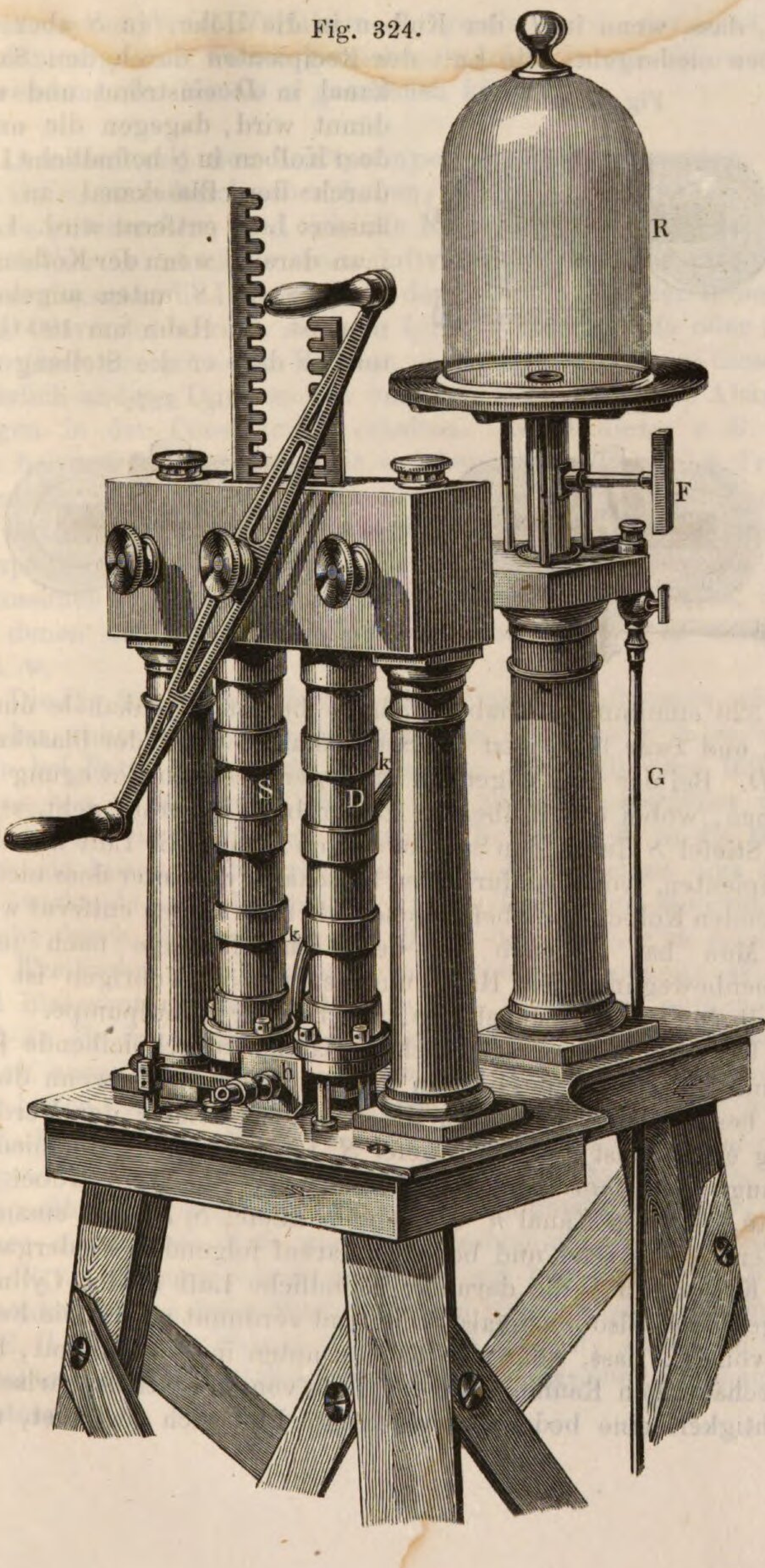
208 **Die zweistiefelige Hahnluftpumpe.** In Deutschland kommt die Construction der Ventilluftpumpen weit seltener vor als in Frankreich; die deutschen Mechaniker pflegen die Ventile durch einen Hahn zu ersetzen, auf den es daher auch bei der Beschreibung der Hahnluftpumpe vorzugsweise ankommt.

Wie die Fig. 324 zeigt, besteht diese Maschine ebenfalls aus den Stiefeln *S*, *D* nebst den darin auf- und abgehenden Kolben, dem Teller mit dem Recipienten *R*, dem Communicationsrohr *kk*, welches die Stiefel mit dem Recipienten in Verbindung zu setzen hat, dem zur Barometerprobe führenden Rohre *G*, dem Absperrhahn *F* und dem zwischen beiden Stiefeln liegenden Haupthahne *h*.

Der Hahn hat, wie die Figuren 325, 326, 327 (a. S. 422) zeigen, vier Durchbohrungen, von denen zwei in gerader Richtung senkrecht zu der Achse des Hahnes stehen (Fig. 327), die beiden anderen aber schräg in der Ebene liegen, welche durch die Mitte der ersten Kanäle zu diesen senkrecht steht. Von diesen beiden letzten Kanälen, die vor der Hand allein in Betracht kommen, mündet der eine am Kopfe des Hahnes, auf welchem der Griff befestigt ist, der andere in dem gegen das Ende des Hahnes liegenden zuerst genannten geraden Kanal; jene Durchbohrung heisst der Blasekanal, weil aus ihm beim Niedergange eines Kolbens die Luft des Stiefels ausgeblasen wird, diese wird der Saugkanal genannt, weil durch ihn beim Aufzuge eines Kolbens die Luft aus dem Recipienten in den Stiefel aufgesaugt wird.

Hat der Hahn die Stellung der Fig. 325, so steht der linke Stiefel *S* mit dem Blasekanal, der rechte *D* aber mit dem Saugkanal in Verbindung. Da nun das Communicationsrohr *kk*, Fig. 324, mit seinem unteren Ende bei beiden Stellungen des Hahnes, Fig. 325 und Fig. 326, mit der einen oder der anderen Mündung des hinteren geraden Kanals in Verbindung steht, so ist

Fig. 324.



klar, dass, wenn in *D* der Kolben in die Höhe, in *S* aber der Kolben niedergeht, die Luft des Recipienten durch den Saugkanal in *D* einströmt und verdünnt wird, dagegen die unter dem Kolben in *S* befindliche Luft durch den Blasekanal an die äussere Luft entfernt wird. Legt man darauf, wenn der Kolben in *D* oben, in *S* unten angekommen ist, den Hahn um 180 Grad um, so dass er die Stellung der

Fig. 325.

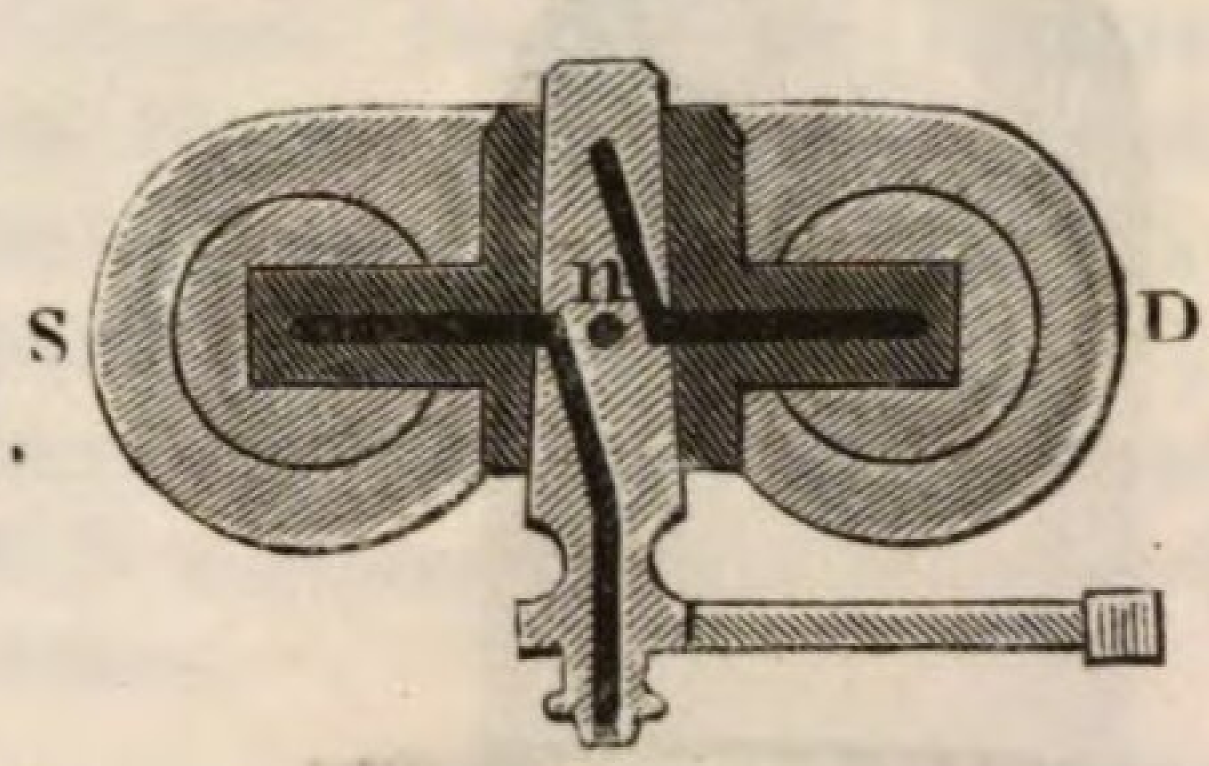


Fig. 326.

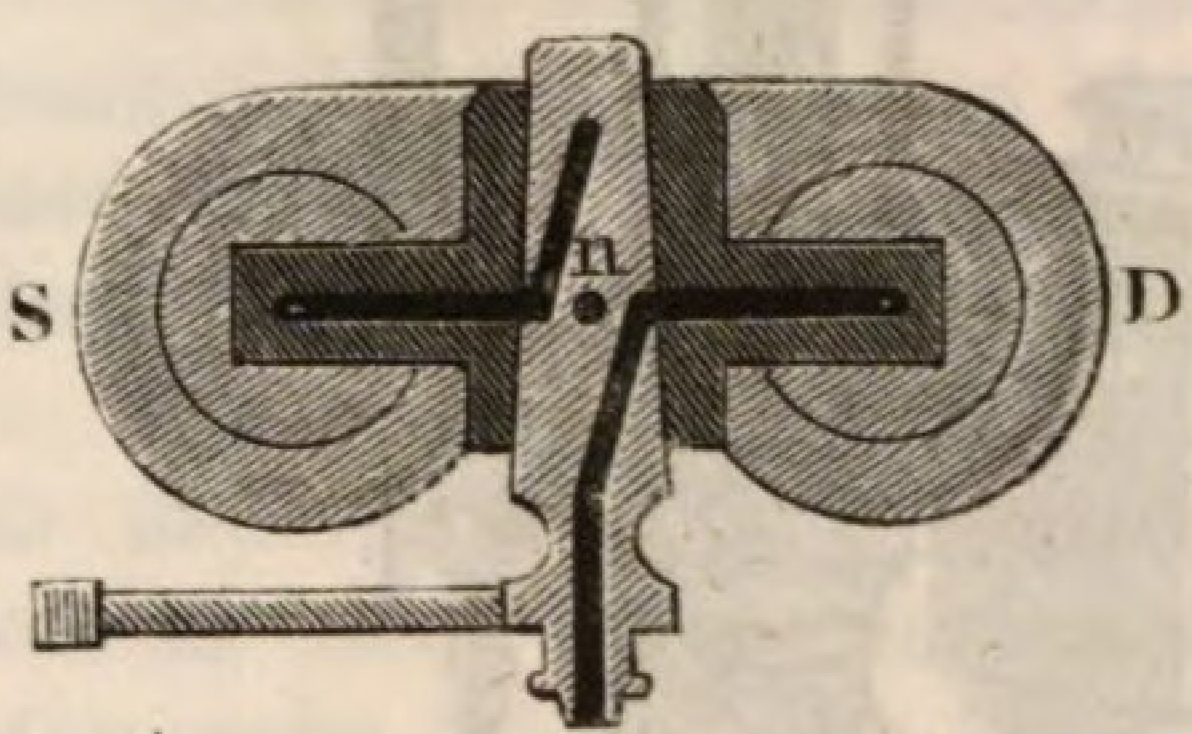


Fig. 327.

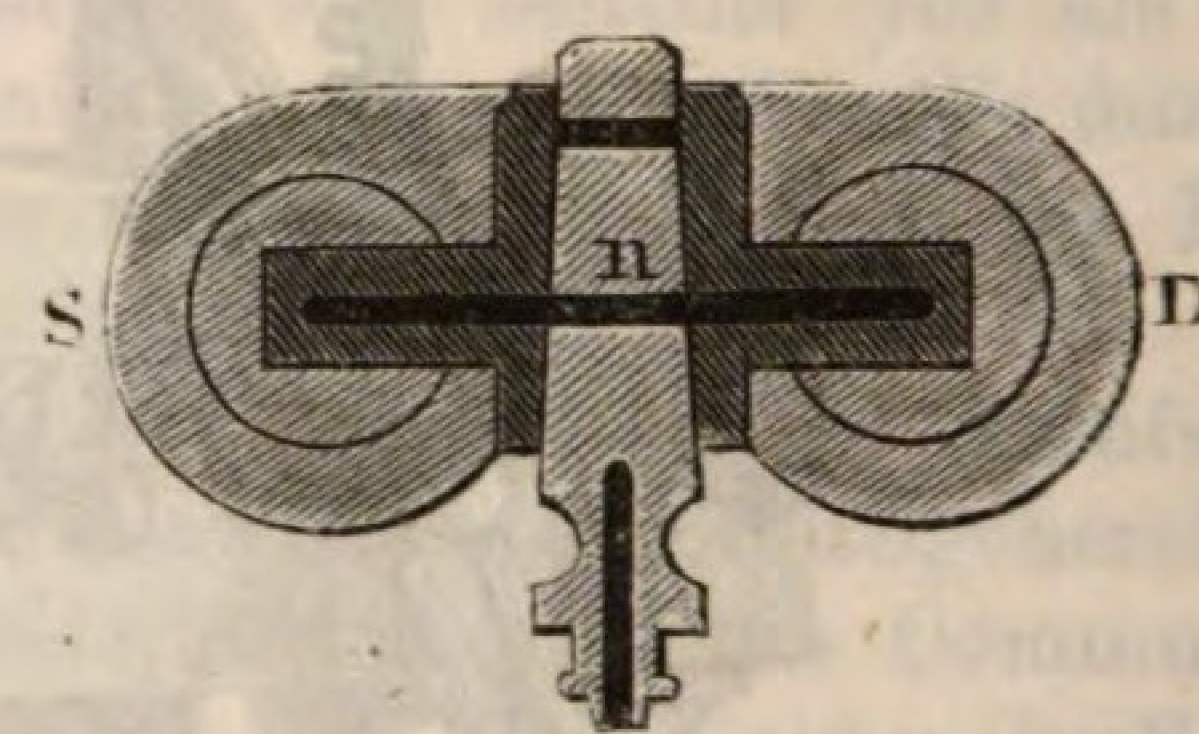


Fig. 326 einnimmt, so haben sich die beiden Seitenkanäle umgelegt, und zwar liegt jetzt der Saugkanal an *S* und der Blasekanal an *D*. Bei der nun folgenden entgegengesetzten Bewegung der Kolben, wobei der Kolben in *D* herab, in *S* herauf geht, saugt der Stiefel *S* durch den Saugkanal von Neuem die Luft aus dem Recipienten, wogegen durch den Blasekanal die unter dem niedergehenden Kolben in *D* befindliche Luft nach aussen entfernt wird.

Man hat hiernach bei der Hahnluftpumpe nach jeder Kolbenbewegung den Hahn umzulegen; im Uebrigen ist die Handhabung derselben ebenso, wie bei der Ventilpumpe.

Um die in dem schädlichen Raume zurückbleibende Luft so unschädlich als möglich zu machen, giebt man, wenn durch das beschriebene Verfahren die mögliche Gränze der Verdünnung erreicht ist und der Stiefel *S* Luft aus dem Recipienten gesaugt hat, dem Hahn die Stellung der Fig. 327, wobei der vierte, mittlere Kanal *n* die beiden Stiefel *S*, *D* mit einander in Verbindung setzt und bei dem darauf folgenden Niedergange des Kolbens in *S* die darunter befindliche Luft in den Cylinder *D* geschafft, also nochmals bedeutend verdünnt wird. Die Folge hiervon ist, dass, wenn der Kolben unten in *S* ankommt, hier im schädlichen Raume statt der Luft von der atmosphärischen Dichtigkeit eine bedeutend verdünnte Luft sich vorfindet, und

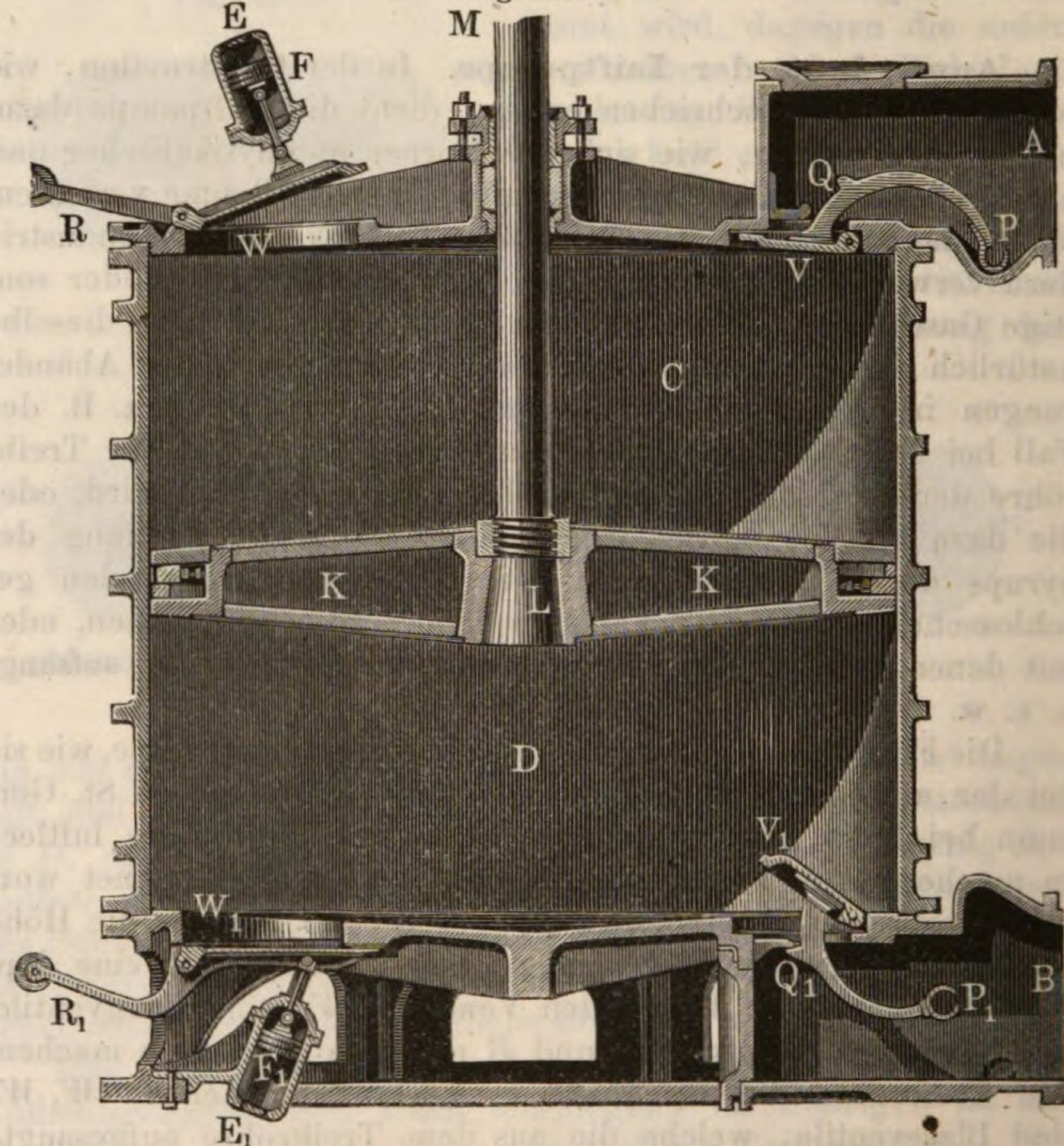
daher, wenn dieses Verfahren fortgesetzt wird, der Grad der Verdünnung viel weiter getrieben werden kann, als es ohne Anwendung des Kanals n geschehen könnte.

Anwendung der Luftpumpe. In der Construction, wie 209
wir sie so eben beschrieben haben, dient die Luftpumpe dazu, um zu untersuchen, wie sich die Körper in physikalischer und chemischer Beziehung in einem luftverdünnten Raume verhalten. Wenn dagegen die Luftpumpe in der Technik oder der Industrie dazu verwendet werden soll, die Luft, Wasserdämpfe oder sonstige Gase aus grösseren Räumen zu entfernen, so muss dieselbe natürlich andere Dimensionen und zweckentsprechende Abänderungen in der Construction erhalten. Es ist dieses z. B. der Fall bei den Luftpumpen, mit welchen die Luft aus der Treibröhre der atmosphärischen Eisenbahnen ausgepumpt wird, oder die dazu dienen, in den Zuckerfabriken die Abdampfung des Syrups durch Wegschaffung der Wasserdämpfe aus den geschlossenen sogenannten Vacuumspfannen zu beschleunigen, oder mit denen man die schädlichen Gase aus Bergwerken aufsaugt u. s. w.

Die Fig. 328 (a. f. S.) erläutert eine derartige Luftpumpe, wie sie bei der atmosphärischen Eisenbahn an der Rampe zu St. Germain bei Paris angewandt wurde, um die Treibröhre luftleer zu machen. Die Ventile sind in der Stellung gezeichnet worden, welche sie annehmen, wenn der Kolben KK in die Höhe geht; sie lassen leicht erkennen, dass die Maschine eine doppelt wirkende ist. Die beiden Ventile V, V_1 sind Saugventile, welche durch die Kanäle A und B mit dem luftleer zu machenden Treibrohre der Eisenbahn in Verbindung stehen; W, W_1 sind Blaseventile, welche die aus dem Treibrohre aufgesaugte Luft an die freie Luft führen. Da diese Ventile einen grossen Druck auszuhalten haben, so sind sie aus Bronze hergestellt, und haben, um sich leicht bewegen zu können, seitliche Arme VP, V_1P_1, WR, W_1R_1 mit Gegengewichten. Der Hub der Saugventile wird durch die vorspringenden Nasen Q, Q_1 und entsprechende Vorsprünge an der Ventilöffnung begränzt; um ferner ein sanftes Auf- und Niederschlagen der Blaseventile W, W_1 zu erlangen, sind dieselben mit kleinen Kolben F, F_1 versehen, welche beim Niederschlagen durch kleine Oeffnungen E, E_1 Luft in die kleinen Cylinder EF, E_1F_1 einsaugen und dieselbe beim Aufschlagen wieder durch dieselben Oeffnungen ausstossen.

Wenn nun der Kolben KK in die Höhe steigt, so saugt er durch das Saugventil V_1 und den Kanal B die Luft des Treib-

Fig. 328.



rohrs in den Raum D auf, während er zugleich die Luft des oberen Raumes C durch das Blaseventil W austreibt; wird dagegen der Kolben KK heruntergetrieben, so schliessen sich die Ventile V_1 und W und es öffnen sich V und W_1; die Luft wird also nun aus dem Treibrohre durch den Kanal A und das Ventil V in den Raum C gesaugt, wogegen die vorhin in den Raum D gesaugte Luft durch das Ventil W_1 entfernt wird.

Der Stiefel CD dieser kolossalen Luftpumpe hat 8 Fuss im Durchmesser und 7 Fuss Höhe, und vier solcher Pumpen vereinigen ihre Wirkung, um das Treibrohr luftleer zu machen. Die Kolben dieser Maschinen werden durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt.

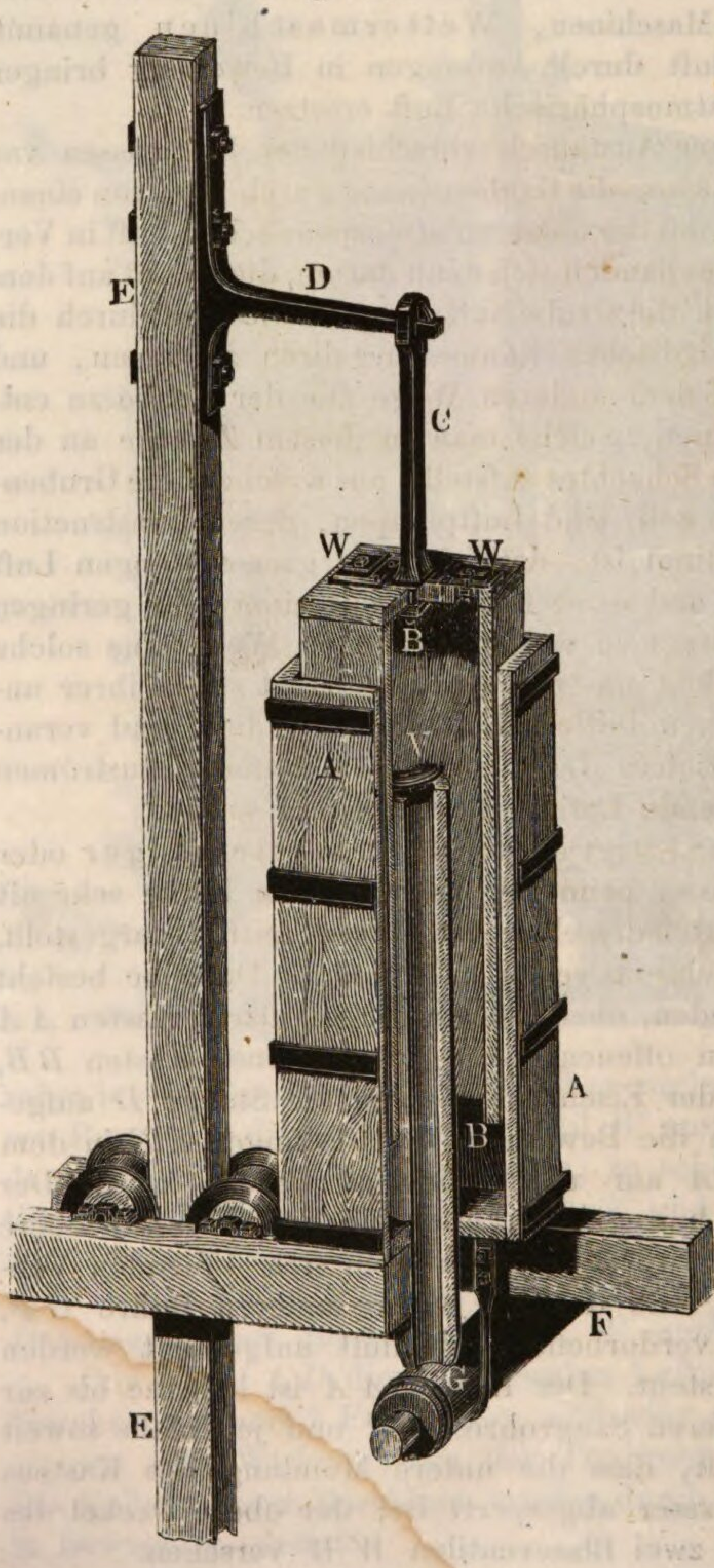
Wettersatz, Wettersauger. Wir haben bereits in §. 55 in der Aufstellung von besonderen Wetteröfen ein Mittel an die Hand gegeben, um in den Bergwerken einen künstlichen Wetterzug hervorzurufen. Denselben Zweck erreicht man auch durch besondere Maschinen, Wettermaschinen genannt, welche die Grubenluft durch Aufsaugen in Bewegung bringen und durch frische atmosphärische Luft ersetzen. 210

Damit ein solcher Austausch verschiedener Luftmassen vor sich gehen könne, müssen die Grubenräume durch zwei von einander getrennte Wege mit der äusseren atmosphärischen Luft in Verbindung stehen, und es handelt sich dann darum, diese Luft auf dem einen dieser Wege in die Grube aufzusaugen, dieselbe durch die verschiedenen unterirdischen Räume circuliren zu lassen, und sie dann wieder auf dem anderen Wege aus der Grube zu entfernen. Die Maschinen, welche man zu diesem Zwecke an der Mündung desjenigen Schachtes aufstellt, aus welchem die Grubenluft entfernt werden soll, sind Luftpumpen, deren Construction jedoch dadurch bedingt ist, dass sie stets grosse Mengen Luft aufzusaugen haben, und diese Luft nur mit einer sehr geringen Geschwindigkeit bewegt zu werden braucht. Wenn eine solche Maschine in Thätigkeit gesetzt wird, so sucht sie in ihrer unmittelbaren Nähe einen luftleeren Raum zu bilden, und veranlasst dadurch die tiefere Luft, in diesen Raum einzuströmen und so die nachfolgende Luft in Bewegung zu setzen.

Die Fig. 329 (a. f. S.) zeigt einen solchen Wettersauger oder Wettersatz, wie er beim Bergbau auf dem Harze sehr oft vorkommt; ein Viertel desselben ist aufgeschnitten dargestellt, um die innere Einrichtung sehen zu können. Derselbe besteht aus einem feststehenden, oben offenen rectangulären Kasten AA und aus einem unten offenen, oben geschlossenen Kasten BB, welcher vermittelst der Eisenstange C an die Stange D aufgehängt ist und durch die Bewegung des Gestänges EE in dem äusseren Kasten AA auf- und abbewegt werden kann. Der innere Kasten BB bewegt sich über ein Rohr, dessen obere Mündung mit einem von unten nach oben sich öffnenden Ventile V versehen ist, und das mit einem anderen Rohre GF, durch welches die verdorbene Grubenluft aufgesaugt werden soll, in Verbindung steht. Der Kasten AA ist beinahe bis zur Mündung V des inneren Saugrohres GV und jedenfalls soweit mit Wasser angefüllt, dass die untere Mündung des Kastens BB stets durch Wasser abgesperrt ist; der obere Deckel des Kastens BB ist mit zwei Blaseventilen WW versehen.

Wird nun der innere Kasten *BB* vermittelst des Gestänges *EED* in die Höhe gezogen, so entsteht unterhalb des Deckels *WW* ein luftverdünnter Raum; die Grubenluft stösst dann durch ihren Ueberdruck das Ventil *V* auf, und strömt durch das Rohr *FGV* in den Raum des Kastens *BB* ein, wo sie sich oberhalb der Sperrflüssigkeit ansammelt. Wenn dann der Kasten *BB* wieder herabgedrückt wird, schliesst sich das Ventil *V*, die im Kasten *BB* enthaltene Luft wird zusammengedrückt, die Blaseventile *WW* werden aufgestossen und die Luft des Kastens entweicht ins Freie.

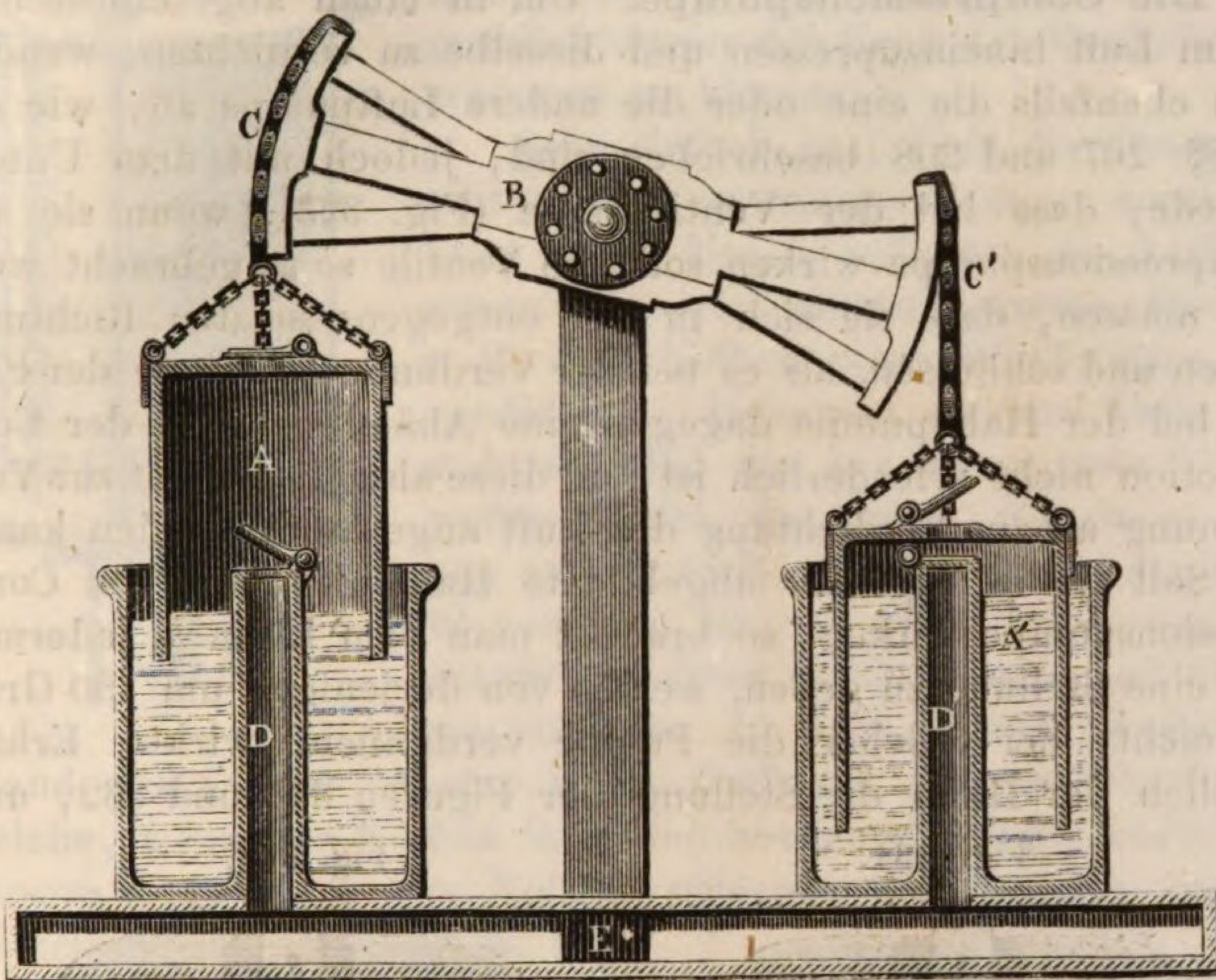
Fig. 329.



Anstatt der so eben beschriebenen einfach wirkenden Wettersauger wendet man gewöhnlich doppelt wirkende an, in denen die rechteckigen Kästen durch Cylinder oder Glocken von Eisenblech ersetzt sind. Eine solche Einrichtung zeigt die Fig. 330, die nach dem Vori-

gen sofort verständlich ist. — Die inneren Cylinder A, A' sind mittelst gegliederter Bandketten C, C' an die bogenförmig ge-

Fig. 330.



stalteten Enden eines Balanciers B aufgehängt und bewegen sich daher mit dem Balancier in den feststehenden äusseren Cylindern abwechselnd auf und ab. D, D' sind die beiden Saugrohre, welche oben mit einem Klappenventil versehen sind und mit dem die Grubenluft aufsaugenden Hauptrohre E in Verbindung stehen. In dem Deckel der inneren Cylinder sind auch hier wieder die Blaseventile angebracht.

Steigt der Cylinder A in die Höhe, so saugt er die Grubenluft durch E, D auf; gleichzeitig bewegt sich der andere Cylinder A' abwärts und presst die unter ihm befindliche Luft durch das sich öffnende Blaseventil ins Freie. Wenn umgekehrt gleich darauf die Bewegung der Cylinder A, A' sich umsetzt, so presst A die vorhin gesaugte Luft ins Freie, wogegen nun A' neue Grubenluft durch D' aufsaugt.

Da bei dieser Anordnung eines Wettersatzes eine Kolbenreibung nicht vorkommt, und die Reibung der inneren Cylinder an dem Wasser sehr klein ist, so empfehlen sie sich wegen der geringen Arbeit, die zu ihrem Betriebe erforderlich ist; es ist jedoch leicht einzusehen, dass dieselben nur da ange-

wandt werden können, wo der Druck der zu bewältigenden Grubenluft keinen grossen Veränderungen unterworfen ist.

211 **Die Compressionspumpe.** Um in einen abgeschlossenen Raum Luft hineinzupressen und dieselbe zu verdichten, wendet man ebenfalls die eine oder die andere Luftpumpe an, wie sie in §§. 207 und 208 beschrieben sind, jedoch mit dem Unterschiede, dass bei der Ventilpumpe (Fig. 323), wenn sie als Compressionspumpe wirken soll, die Ventile so angebracht werden müssen, dass sie sich in der entgegengesetzten Richtung öffnen und schliessen, als es bei der Verdünnungspumpe der Fall ist, bei der Hahnpumpe dagegen eine Abänderung in der Construction nicht erforderlich ist und diese also ebenso gut zur Verdünnung als zur Verdichtung der Luft angewandt werden kann.

Soll die in Fig. 324 abgebildete Hahnluftpumpe als Compressionspumpe wirken, so braucht man dem Hahn *h* jedesmal nur eine Stellung zu geben, welche von derjenigen um 180 Grad abweicht, bei welcher die Pumpe verdünnend wirkt. Erhält nämlich der Hahn die Stellung der Figuren 331 und 332, und

Fig. 331.

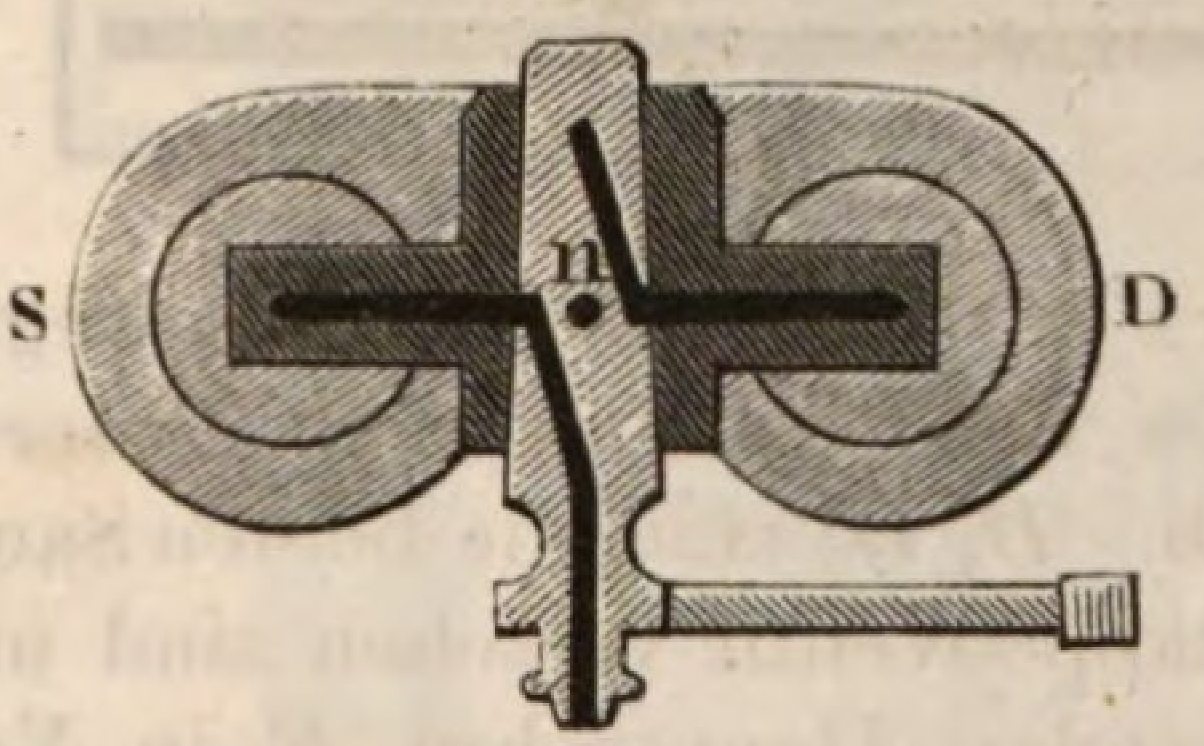
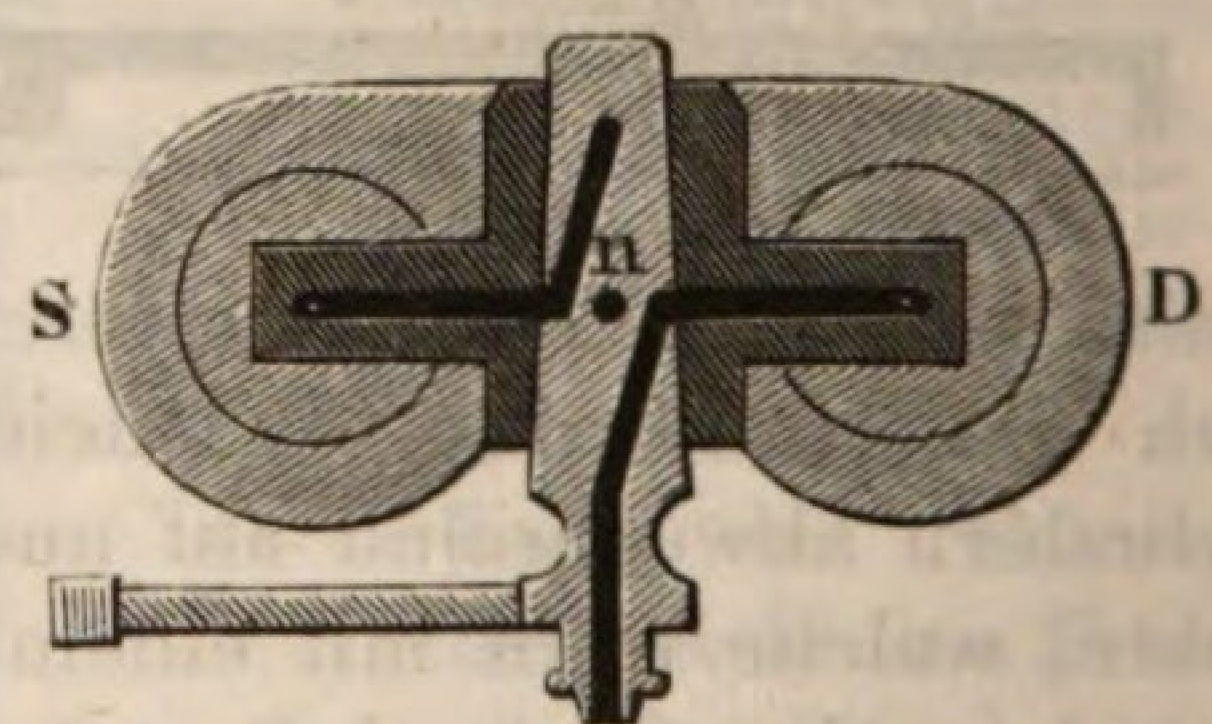


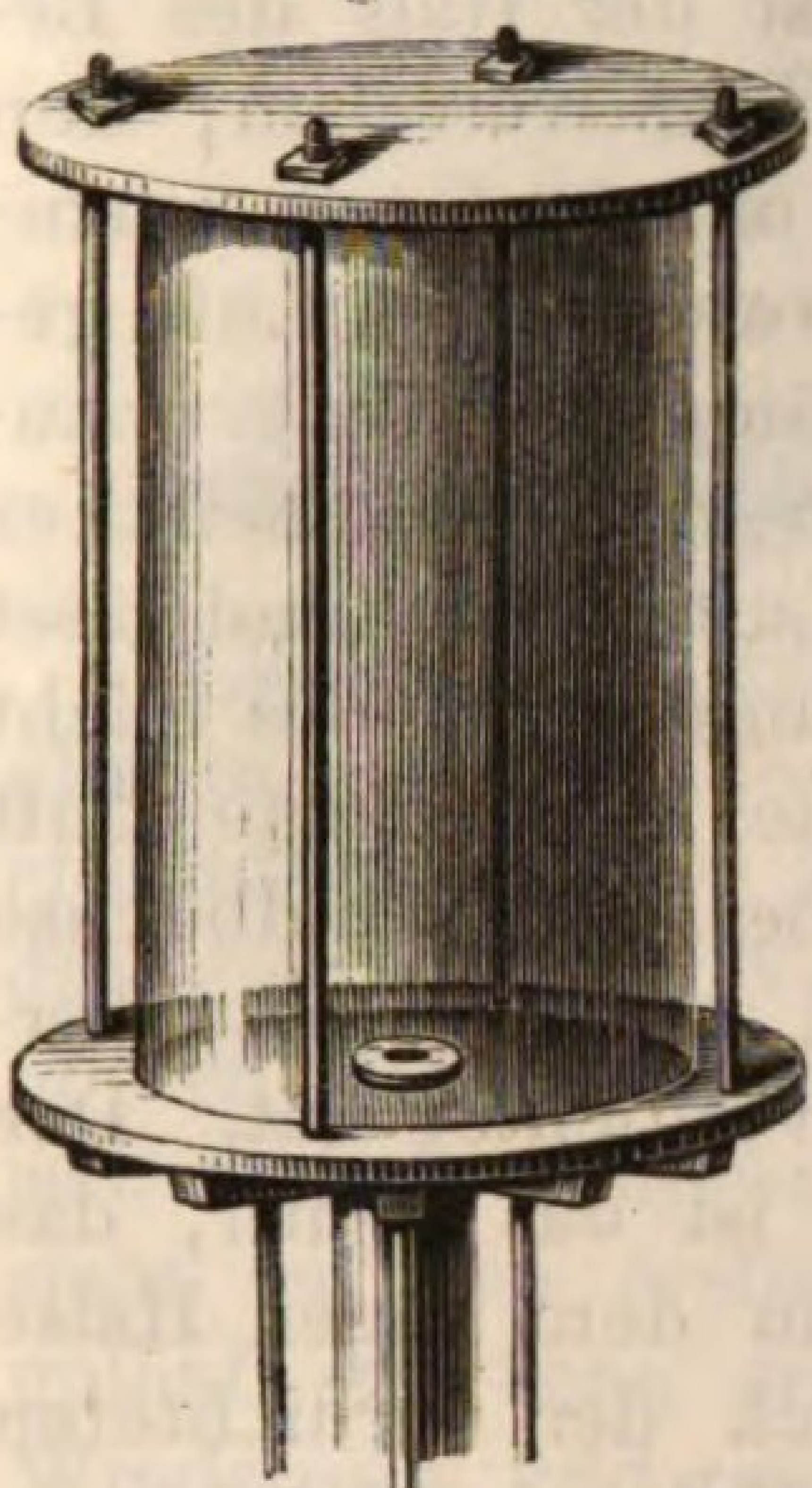
Fig. 332.



lässt man den Kolben im Stiefel *S* herauf- also im Stiefel *D* herabgehen, so wird in ersterem Stiefel die äussere Luft durch den Kanal, der bei der Verdünnungspumpe Blasekanal genannt wird, hier aber als Saugkanal wirkt, aufgesaugt, dagegen die Luft des Stiefels *D* durch den hinteren Kanal in den Recipienten gepresst. Wird dann der Hahn umgelegt und in die Stellung der Fig. 332 gebracht, so wird bei dem nun folgenden Niedergange des Kolbens in *S* die vorhin aufgesaugte Luft dieses Stiefels wieder in den Recipienten gepresst, während der aufsteigende Kolben in *D* neue Luft von aussen aufsaugt. Dass zu diesem Zwecke, wie Fig. 333 zeigt, der Recipient durch eiserne, mit Schrauben versehene Stäbe zwischen dem Teller und einem oberen Widerlager festgehalten und so stark gemacht werden muss, dass er dem inneren Druck der verdichteten Luft Wider-

stand zu leisten vermag, versteht sich von selbst. Bei der Anwendung der Compressionspumpe wird die Barometerprobe durch ein geschlossenes Manometer (§. 52) ersetzt, um jeden Augenblick daran den Grad der Verdichtung erkennen zu können.

Fig. 333.



Sehr einfach ist jedoch die Construction einer Compressionspumpe, wenn sie bloss dazu dienen soll, um die Luft in einem kleineren abgeschlossenen Raume, z. B. dem Kolben einer Windbüchse, zu verdichten. In einem solchen Falle besteht dieselbe nur aus einem etwa 1 Zoll weiten Stiefel, der unten mit einem sich von aussen nach innen schliessenden Ventil versehen ist, und in welchem sich ein massiver Kolben luftdicht auf- und abbewegen lässt. In dem oberen Theile der Wand des Stiefels ist eine kleine Oeffnung angebracht, durch welche, wenn der Kolben in seiner höchsten Stellung steht, die äussere Luft unter den Kolben gelangen und so den ganzen Stiefelraum ausfüllen kann.

Schraubt man eine solche Pumpe, nachdem man den Kolben hoch aufgezogen und die äussere Luft durch die Wandöffnung in den Stiefel eingelassen hat, auf einen geschlossenen starken Behälter, und drückt dann den Kolben herab, so sperrt er zunächst die unter ihm befindliche Luft des Stiefels von der äusseren Luft ab und presst dieselbe, da sie sonst nirgendwo entweichen kann, durch das sich öffnende Ventil in den darunter befindlichen Behälter hinein. Zieht man darauf den Kolben wieder in die Höhe, so hat die bereits verdichtete Luft des Behälters das Bestreben, sich wieder auszudehnen, drückt in Folge hiervon das Ventil zu und kann also nicht entweichen. Unterhalb des Kolbens entsteht jetzt ein luftverdünnter Raum, in welchen jedoch die äussere Luft durch die Wandöffnung des Stiefels sofort hineinströmt, sobald der Kolben seine höchste Stellung eingenommen und dadurch die Verbindung der äusseren Luft mit dem Stiefelraume unter dem Kolben wieder hergestellt hat. Drückt man dann den Kolben wieder herab, so wird die Luft des Stiefels abermals in den Behälter hineingepresst, und es ist klar, dass man diese Operation nur eine Zeit lang fortzusetzen hat, um die Luft in dem Behälter immer mehr zu

verdichten. Die Compression geht um so schneller von Statten, je grösser der Rauminhalt des Stiefels ist im Verhältniss zu dem Rauminhalte des Behälters. Gewöhnlich ist der Hals des Behälters mit einem einfach durchbohrten Hahn versehen, den man nach beendigter Comprimirung nur um 90 Grad umzudrehen braucht, um den inneren, mit der verdichteten Luft gefüllten Raum von der Pumpe und der äusseren Luft abzuschliessen. Schraubt man jetzt die Pumpe von dem Behälter ab, so bleibt dieser mit der verdichteten Luft gefüllt und lässt sich vermittelst des darauf befindlichen Schraubengewindes leicht mit anderen Vorrichtungen, auf welche die comprimirte Luft einwirken soll, in Verbindung bringen. Bei der Windbüchse schraubt man den Lauf auf den Kolben auf, nachdem man vorher die Luft auf das 8- bis 10fache darin verdichtet hat. Der Kolben hat keinen Absperrhahn, dagegen ist das Ventil, das sonst am unteren Ende der Pumpe sitzt, in dem engen Halse des Büchsenkolbens angebracht. Der Druck der verdichteten Kolbenluft hält dieses Ventil, so lange der Hahn der Büchse in Ruhe oder gespannt ist, geschlossen; dasselbe wird aber, so oft man den gespannten Hahn abschnappen lässt, durch einen von starker Federkraft geschnellten Stift für einen Augenblick einwärts getrieben. In dieser kurzen Zeit entweicht ein Theil der comprimirten Luft mit grosser Gewalt aus dem Kolben, und stösst eine Kugel, die man vorher in den Lauf gebracht hat, mit grosser Kraft fort; das Ventil aber schliesst sich unter dem Drucke der ausströmenden Luft sofort wieder zu. Auf diese Weise kann man, ohne von Neuem laden zu müssen, mehrere Schüsse nach einander thun, und zwar um so mehr, je grösser der Kolben ist und je mehr man die Luft darin verdichtet hat.

212 **Die Blasebälge**, welche man anwendet, um durch Einblasen von Luft das Feuer anzufachen, wirken im Allgemeinen in der Weise, dass sie bei der einen Bewegung atmosphärische Luft, die man bei allen Arten von Gebläsen Wind zu nennen pflegt, aufsaugen, und dieselbe bei der entgegengesetzten Bewegung mit einer gewissen Geschwindigkeit in das Feuer blasen.

Der einfachste Blasebalg, Fig. 334, besteht, wie bekannt, aus zwei durch einen ledernen, in Falten gelegten Balg verbundenen hölzernen Deckeln, von denen der eine sich innerhalb enger Gränzen um ein Scharnier auf- und abbewegen lässt, der andere aber mit einem von aussen nach innen sich öffnenden Klappenventil *k* versehen ist. Der innere zwischen beiden Platten enthaltene Raum verläuft in eine metallene Hülse, die Düse

genannt, aus welcher die Luft auf das Brennmaterial ausgeblasen werden soll.

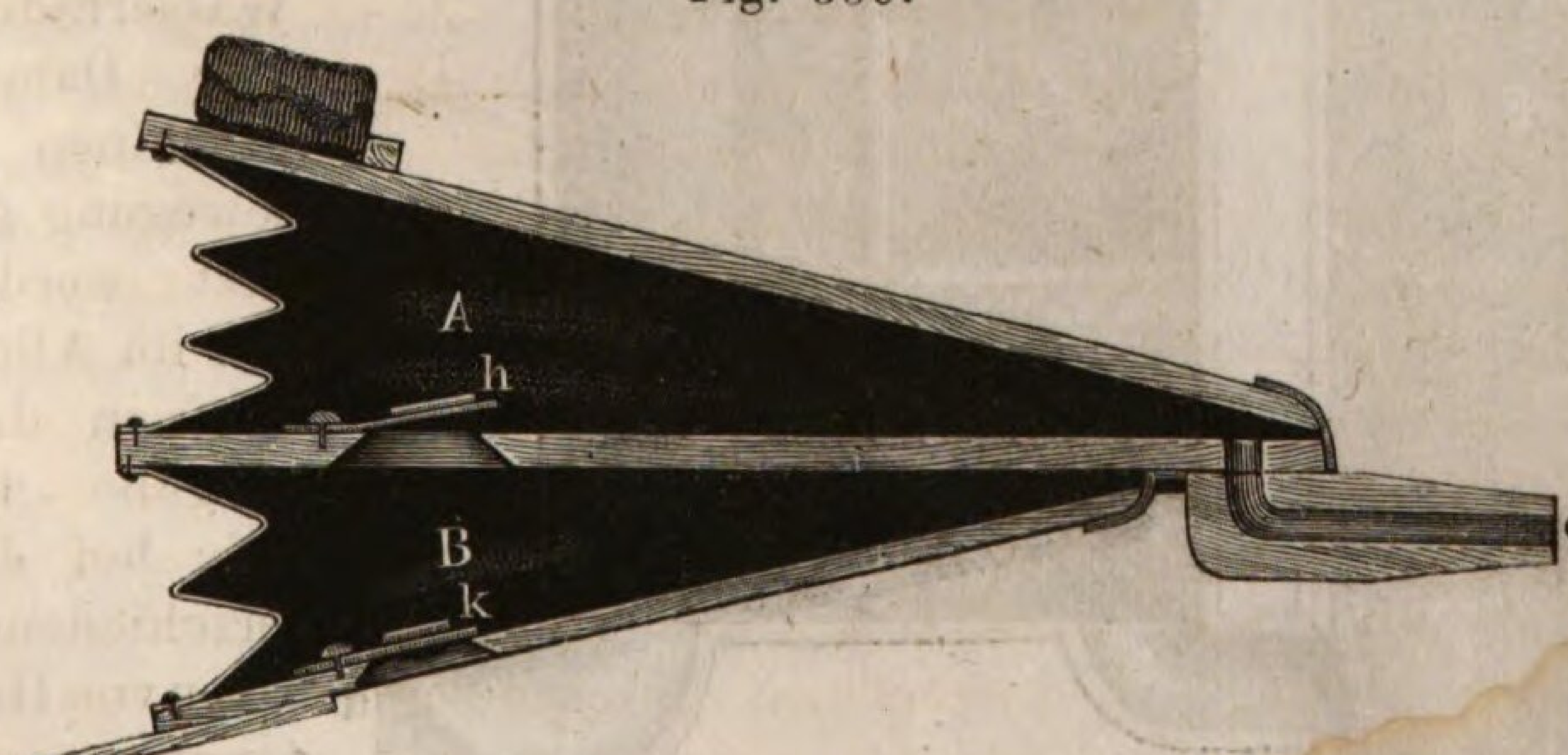
Fig. 334.



Liegen die beiden Deckel auf einander und hebt man den oberen rasch in die Höhe, so entsteht zwischen beiden Deckeln ein luftverdünnter Raum, in welchen die äussere Luft durch das sich hebende Ventil *k* einströmt. Drückt man darauf den oberen Deckel wieder herunter, so wird das Ventil *k* geschlossen, und die eingesaugte Luft durch die Düse ausgeblasen. Man sieht auf den ersten Blick, dass diese Vorrichtung sehr mangelhaft ist; denn erstens giebt sie einen beständig absetzenden Windstrom, und zweitens hat die äussere Luft während des Aufsaugens ebenso gut das Bestreben, durch die Düse *d*, als durch das Ventil *k* in den Blasebalg einzuströmen, wodurch es dann leicht kommen kann, dass durch *d* die Flamme einströmt und das Holz desselben beschädigt wird.

Um diesen Uebelständen zu begegnen, wendet man daher meist doppelte oder dreifache Blasebälge an. Der doppelte Blasebalg besteht, wie Fig. 335 zeigt, aus zwei getrennten Luftbehältern *A* und *B*, welche durch ein ledernes Klappenventil *h*

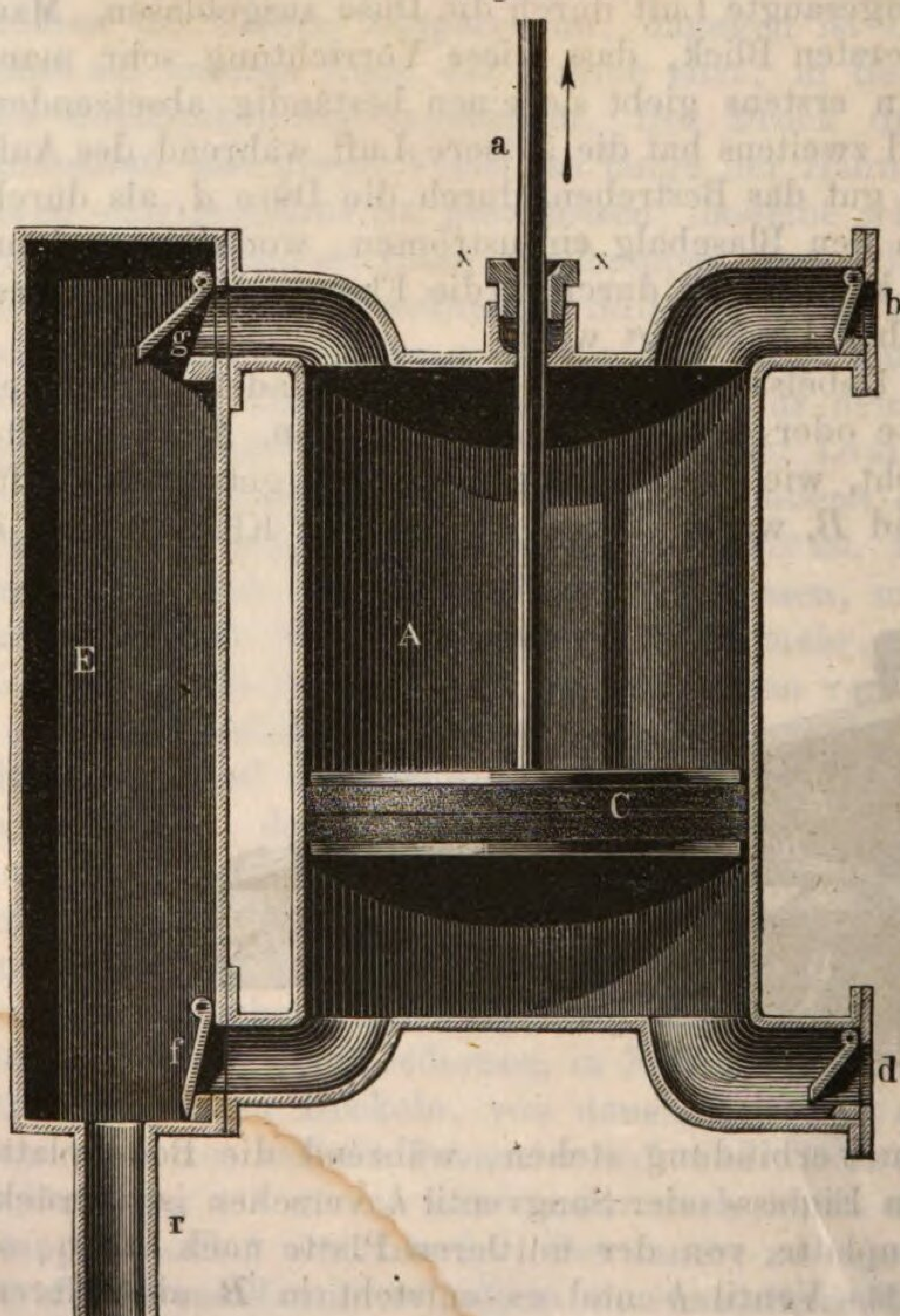
Fig. 335.



mit einander in Verbindung stehen, während die Bodenplatte wieder mit dem Einlass- oder Saugventil *k* versehen ist. Drückt man die Bodenplatte von der mittleren Platte nach unten, so schliesst sich das Ventil *h* und es entsteht in *B* ein luftver-

dünnter Raum, in welchen die äussere Luft durch das Ventil *k* einströmt. Hebt man darauf die Bodenplatte wieder in die Höhe, so wird die Luft in *B* zusammengedrückt, das Ventil *k* geschlossen, *h* geöffnet und die Luft aus *B* in den Raum *A* gepresst, aus welchem sie durch die Düse *o* ausströmen kann. Beim Eindringen der Luft von *B* in *A* wird die Deckplatte und das darauf liegende Gewicht gehoben. Bei dem gleich darauf wieder folgenden Niedergange der Bodenplatte, wobei neue Luft in *B* aufgesaugt wird, wirkt dann das nun herabsinkende Gewicht auf die Luft in *A* und treibt sie aus der Düse aus. Sobald die Bodenplatte wieder gehoben wird, beginnt das Spiel von Neuem, so dass aus der Düse *o* ein ununterbrochener Windstrom hervordringt, der um so regelmässiger erfolgt, je schneller die Bodenplatte auf- und abbewegt wird.

Fig. 336.



213 **Die Gebläse** bilden eine grosse Klasse von zahlreichen Maschinen sehr verschiedener Construction, welche durch Wasserräder oder Dampfmaschinen in Bewegung gesetzt werden und im Allgemeinen die Aufgabe haben, bei den verschiedenen Arten von Hüttenprozessen, in den Giessereien und sonstigen industriellen Anla-

gen, in denen sehr hohe Hitzegrade erzeugt werden müssen, dem Brennmateriale aussergewöhnlich grosse Mengen von Wind zuzuführen. Bei der grossen Verschiedenheit, welche die Gebläse haben, je nachdem sie zu dem einen oder dem anderen Zwecke verwandt werden sollen, müssen wir uns mehr darauf beschränken, die Wirkungsweise derselben an einigen Beispielen zu erläutern, als ihre Construction im Einzelnen zu verfolgen.

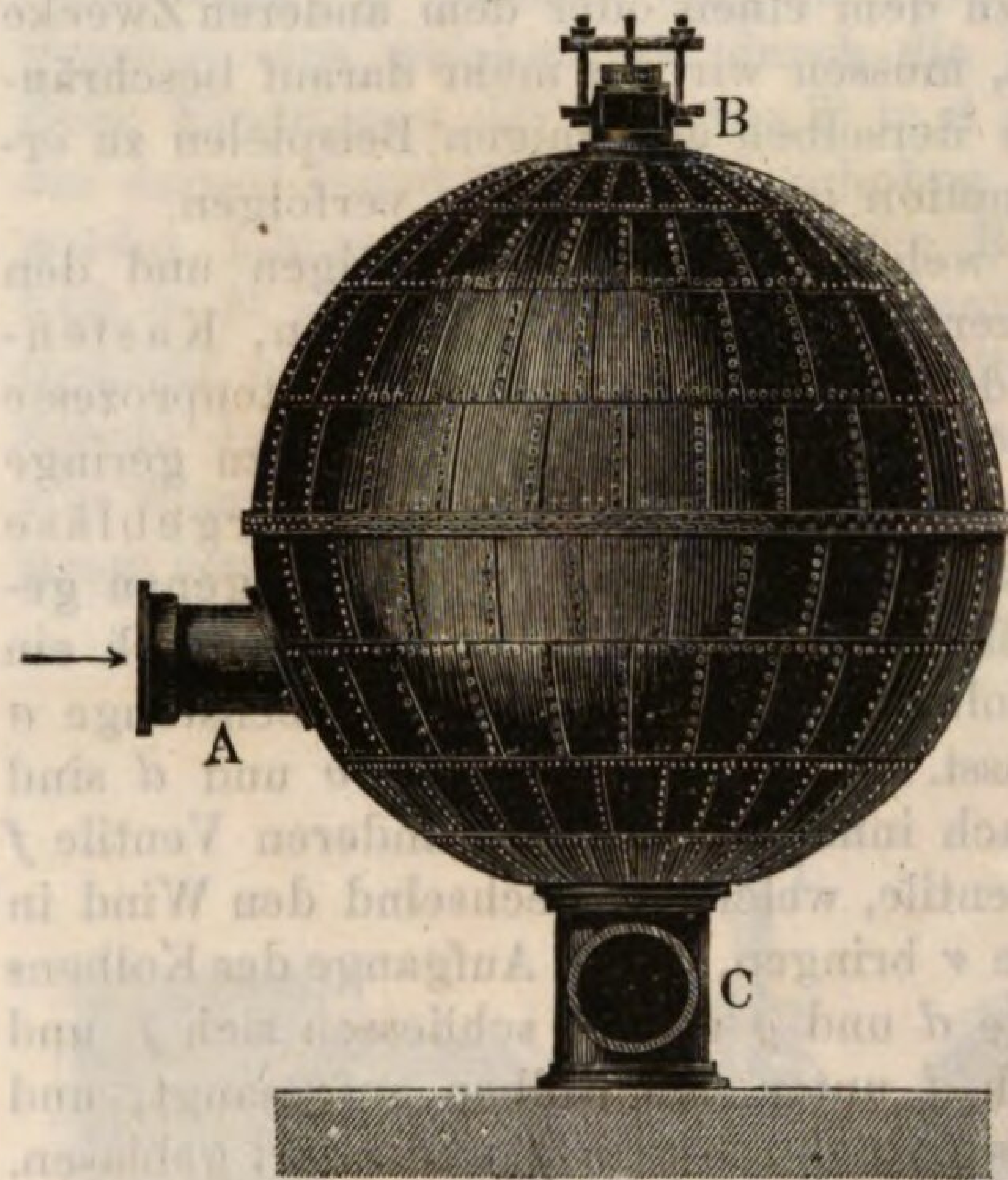
Die Windmengen, welche von den Blasebälgen und den sogenannten, den Harzer Wettersaugern ähnlichen, Kastengebläsen geliefert werden, sind für die meisten Hüttenprozesse nicht ausreichend und haben ausserdem noch eine zu geringe Pressung. Sie werden daher durch eiserne Cylindergebläse ersetzt, und bestehen, wie Fig. 336 zeigt, aus einem genau gebohrten und ausgeschliffenen Cylinder *A*, in welchem sich ein dicht anschliessender Kolben *C* vermittelst der Kolbenstange *a* auf- und abbewegen lässt. Die beiden Ventile *b* und *d* sind Saugventile, die sich nach innen öffnen, die anderen Ventile *f* und *g* sind die Auslassventile, welche abwechselnd den Wind in das Rohr *E* und zur Düse *r* bringen. Beim Aufgange des Kolbens *C* öffnen sich die Ventile *d* und *g* und es schliessen sich *f* und *b*; der Wind wird durch *d* unter den Kolben aufgesaugt, und der vorher bereits aufgesaugte durch *g* in *E* und *r* fort geblasen.

Windregulatoren. Um ein möglichst gleichförmiges Ausströmen des Windes durch die Düse zu erzielen, werden zwei oder mehrere solcher Gebläse aufgestellt und so mit einander in Verbindung gesetzt, dass zu einer und derselben Zeit die Kolben verschiedene Stellungen in den Cylindern einnehmen. Ausserdem aber lässt man den Wind nicht direct aus dem Gebläse ins Feuer streichen, sondern führt ihn zunächst in einen Regulator, aus welchem er dann unter einer nahe constant bleibenden Pressung durch die Düse ausströmt. 214

Einer der einfachsten Windregulatoren ist der Ballon, Fig. 337 (a. f. S.). Derselbe ist aus Blechtafeln zusammengenietet und hat einen Durchmesser von nahe 25 Fuss. Der Wind strömt aus den Gebläsen durch zwei gusseiserne Röhren *A* von 3 Fuss Weite in den Ballon ein, und durch eine vom gusseisernen Sockel *C* auslaufende Röhre von $3^3/_4$ Fuss Weite wieder heraus. Zur Vermeidung eines übermässigen Druckes des Windes ist am Kopfe des Ballons ein Sicherheitsventil *B* angebracht, welches mit Eisenplatten beschwert ist und aufspringt, wenn die Spannung des Windes die vorgeschriebene

Gränze überschreitet. Da das Luftquantum dieses Ballons (circa 8185 Kubikfuss) im Verhältniss zu dem Inhalte der Gebläsecylinder sehr gross ist, so haben die Unregelmässigkeiten der Kolbenbewegungen auf dasselbe keinen merklichen Einfluss und der Wind streicht in einem constanten Strome aus der Düse aus.

Fig. 337.



In anderen Fällen wendet man den sogenannten Kolbenregulator an, wie er in Fig. 338 dargestellt ist. In einem oben offenen Cylinder C kann sich ein geliderter Kolben DD auf- und abbewegen; die Kolbenstange EF hat einen Querarm HH, dessen Enden die Leitstangen HL, HL umfassen und der daher die Geradführung des Kolbens DD erhält. Der Wind des Gebläses strömt durch das senkrecht zur Zeichnung stehende Rohr A unter den Kolben DD ein und durch ein dem Zuleitungsrohre A gerade entgegengesetztes Rohr H, Fig. 339, zur Düse wieder aus. Kommt nun aus dem Gebläse eine grössere Menge Luft durch A an, als es zur Erhaltung eines constanten Windstroms sein soll, so strömt dieselbe in den Regulator C ein und hebt den durch Gewichte G, G beschwerten Kolben DD in die Höhe; nimmt dagegen für einen Augenblick die nöthige Windmenge ab, so sinkt der Kolben wieder herab und presst einen Theil der darunter befindlichen Luft durch H aus, so dass durch die Bewegung des Kolbens der durch H ausströmende Wind sehr nahe dieselbe Pressung behält und stets mit derselben Geschwindigkeit aus der Düse austritt.

Um zu verhüten, dass der Kolben DD durch einen zu starken Wind aus dem Cylinder geworfen werde, ist bei B eine Klappe angebracht, welche auf der Achse des ausserhalb des Rohres B befindlichen Sectors O befestigt ist, und für die ge-

wöhnlichen Fälle durch das auf den Sector wirkende Gewicht *Q* offen gehalten wird. Der Sector *O* steht aber durch eine

Fig. 338.

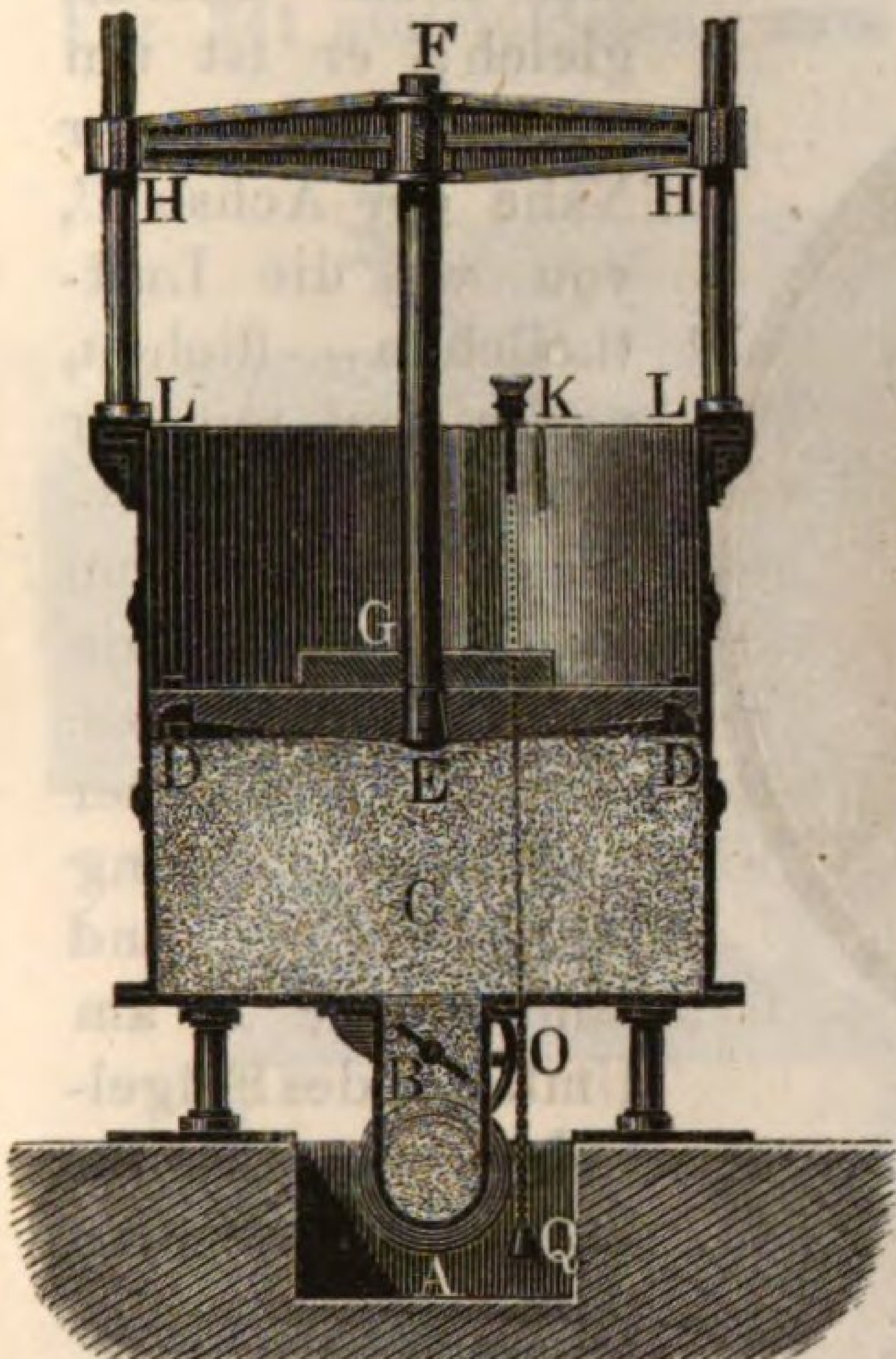
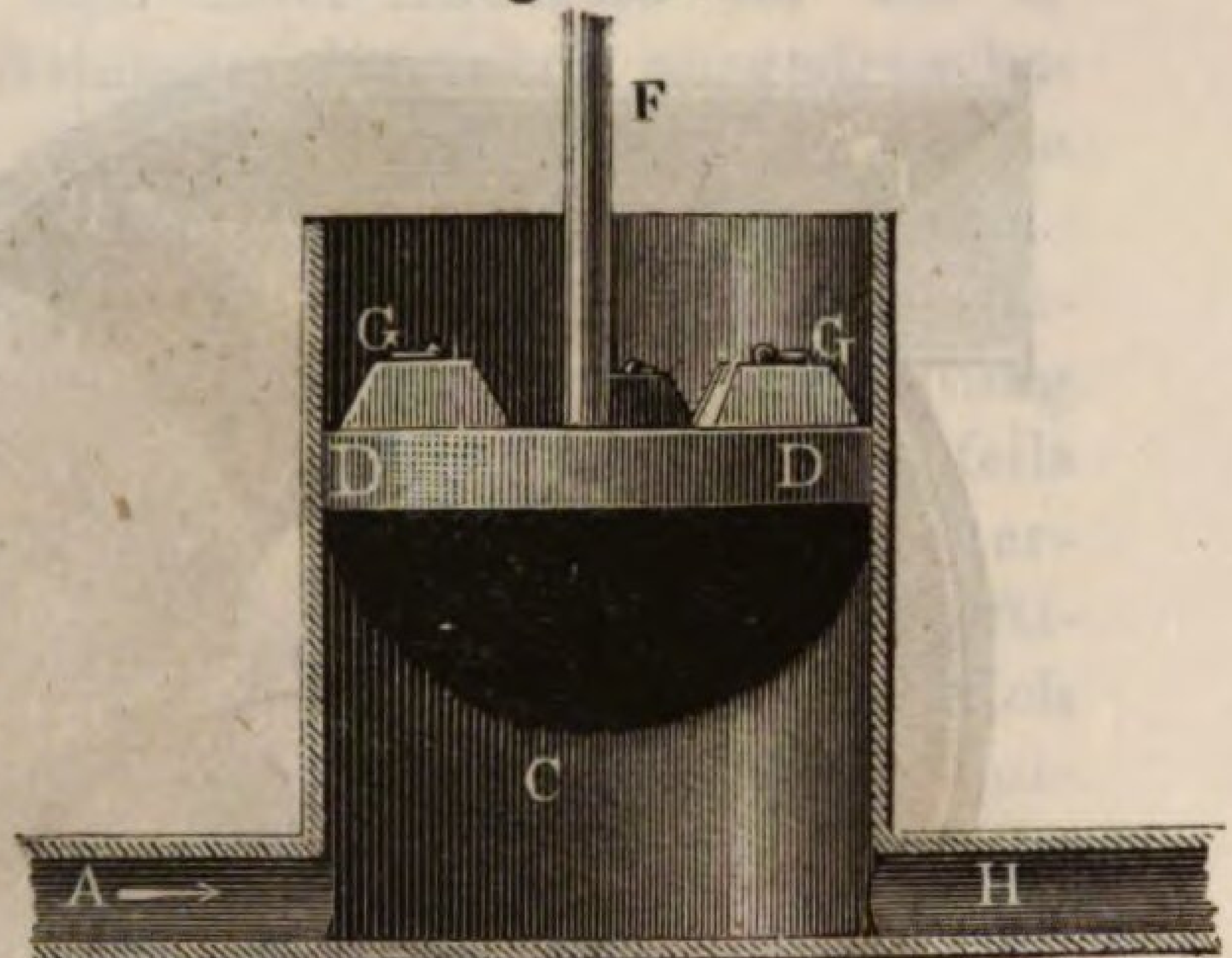


Fig. 339.



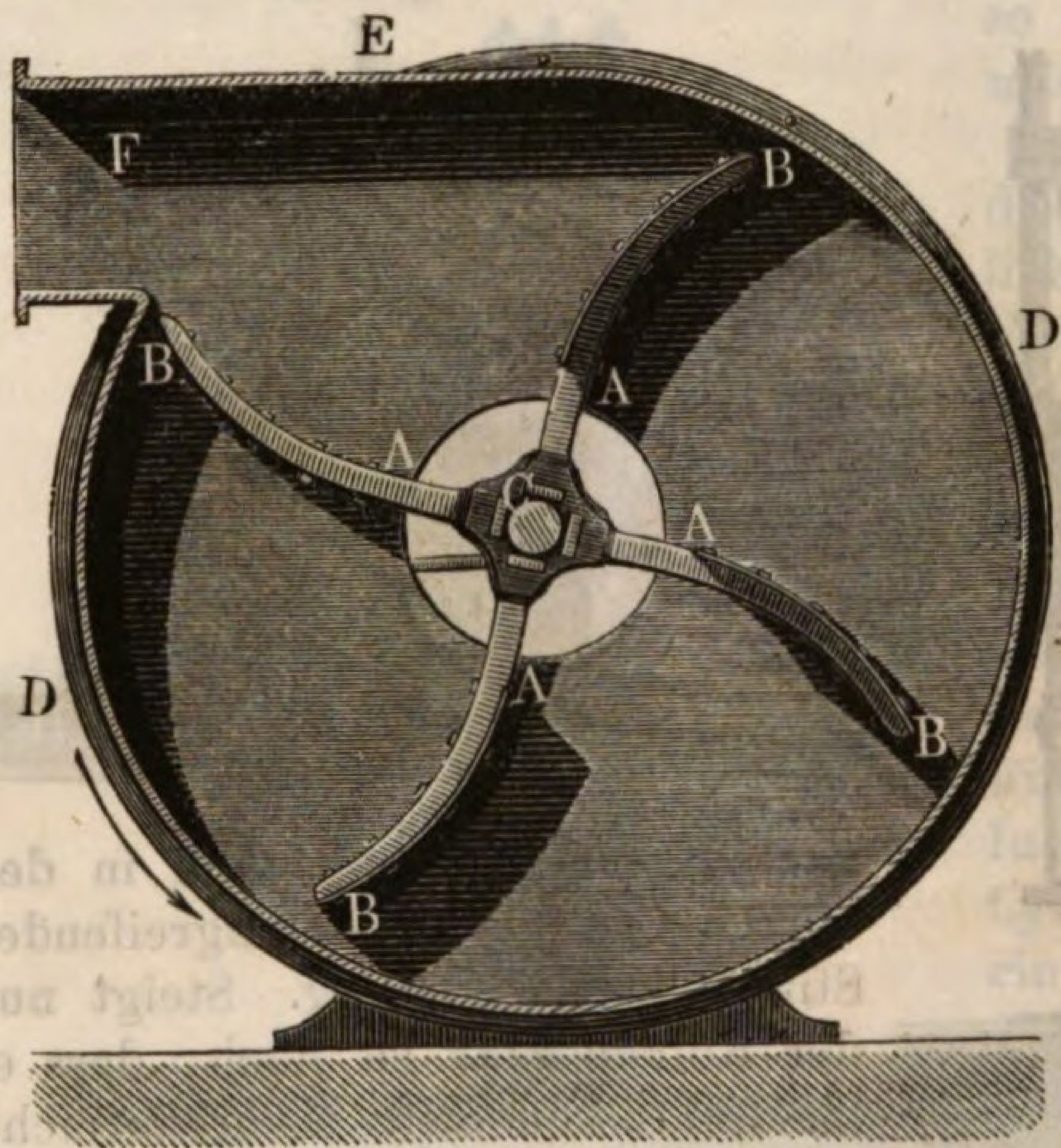
Kette auch noch mit dem in den oberen Cylinderraum eingreifenden Stift *K* in Verbindung. Steigt nun der Kolben *DD* so hoch, dass er bis an diesen Stift *K* heranreicht, so hebt er bei noch weiterem Steigen den Stift in die Höhe, zieht damit die Kette auf, dreht den Sector *O* um seine Achse und schliesst die Klappe *B*, so dass nun der Gebläsewind nicht mehr in den Cylinder *C* einströmen kann; durch das Ausströmen des Windes aus *H* wird dann sofort eine Verminderung der Pressung unterhalb des Kolbens hervorgebracht.

Auf der Eisenhütte zu Creusot in Frankreich werden vier Hohöfen durch ein Gebläse von 100 Pferdekräften mit Wind versorgt, dessen Pressung durch zwei Kolbenregulatoren von je $8^2/_3$ Fuss Durchmesser und 9 Fuss Hub regulirt wird.

Der Centrifugal-Ventilator. Denken wir uns, dass eine Welle *C*, Fig. 340 (a. f. S.), auf welcher in gleichen Abständen von einander mehrere Flügel oder Schaufeln *AB* befestigt sind, in eine schnelle Umdrehung versetzt werde, so werden die Schaufeln die dazwischen enthaltene Luft in eine rotirende Bewegung setzen. Die Folge hiervon ist, dass jedes Lufttheilchen eine gewisse Schwungkraft oder Centrifugalkraft (I. §. 135) erhält, vermöge deren es das Bestreben hat, sich von der Achse *C* der Umdrehung zu entfernen und nach dem Umfange *BBBB* hin 215

zu fliehen. Wenn man daher das Flügelrad mit einer Trommel *EDD* auf allen Seiten umschliesst, so ist der Druck der Luft im

Fig. 340.



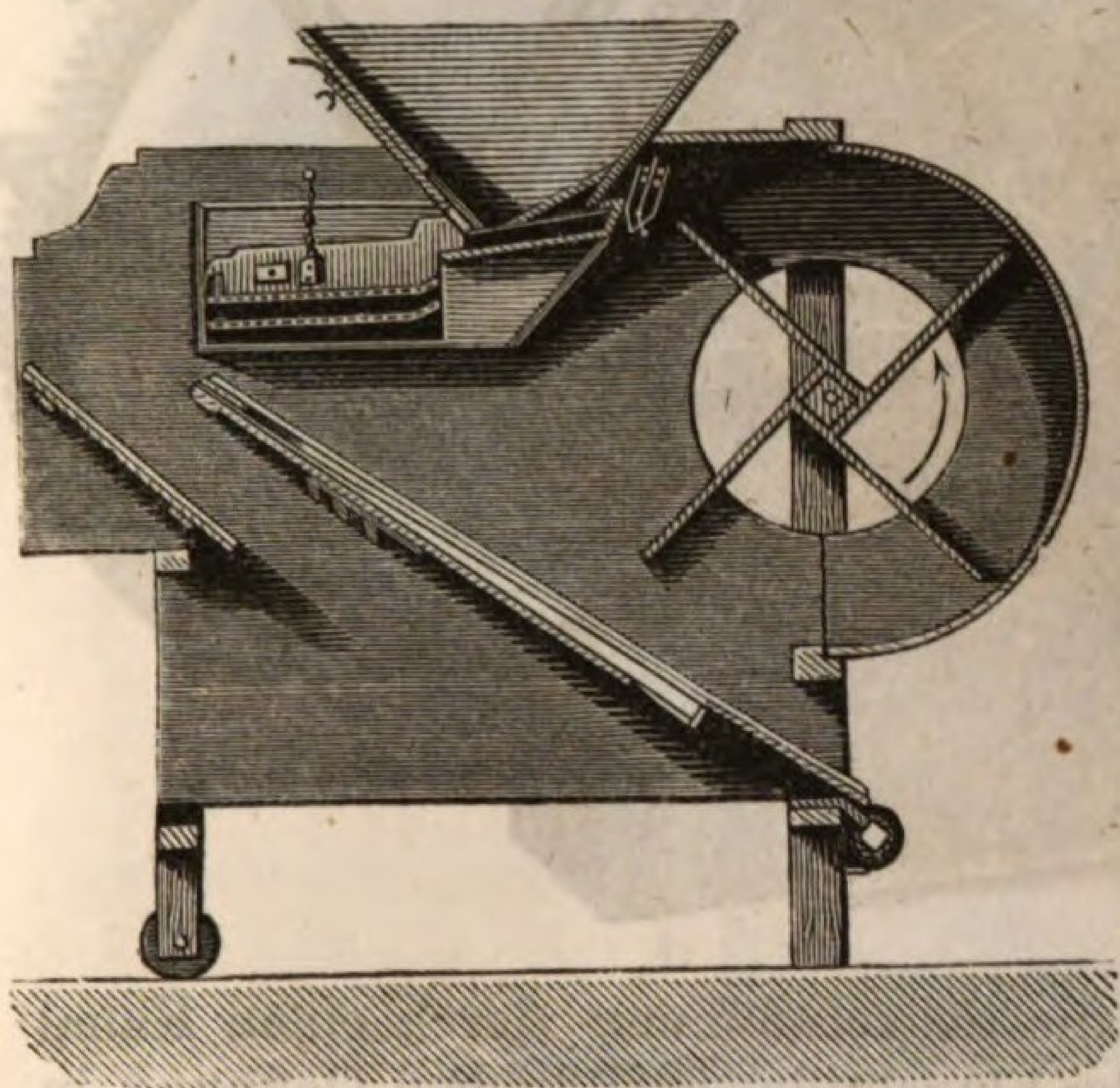
Innern dieser Trommel nicht überall gleich; er ist am schwächsten in der Nähe der Achse *C*, von wo die Lufttheilchen fliehen, und nimmt mit der Entfernung von dieser Achse nach dem Umfange *DD* hin immer mehr zu. Stellt man daher durch eine Oeffnung an der Welle *C* und eine zweite *F* am Umfange des Flügelrades eine Verbindung her zwischen dem Innern der Trommel *DD* und der äusseren Luft, so wird letztere durch die Oeffnung an der Welle *C*, wo der Druck im Innern am schwächsten ist, in die Trommel einströmen, und durch die Centrifugalkraft bei *F* wieder ausgetrieben werden; auf diese Weise wird, so lange die Welle *C* rund gedreht wird, ein beständiger Luftstrom erzeugt, der bei der Welle in das Flügelrad aufgesaugt und bei der Mündung *F* ausgeblasen wird.

Vorrichtungen dieser Art, bei denen die Schaufeln entweder eben oder gekrümmt und gewöhnlich in der Zahl 4 bis 8 vorhanden sind, werden Centrifugalventilatoren genannt; sie haben entweder die Bestimmung, aus einem gegebenen Raume die Luft fortzuschaffen, sie herauszusaugen, oder in einen gewissen Raum Luft hineinzublasen; man unterscheidet hiernach saugende und blasende Ventilatoren, die sich von einander nur dadurch unterscheiden, dass bei jenen die an der Welle befindliche Oeffnung mit dem geschlossenen und zu entleerenden Raume in Verbindung steht und die gesaugte Luft aus den Schaufelkanälen gleich an die äussere Luft gelangt, bei diesen dagegen das Blaserohr *F* gewöhnlich mittelst einer Düse in denjenigen Raum mündet, in welchen die Luft

hineingeblasen werden soll, und die an der Welle befindliche Oeffnung mit der freien Luft communicirt.

Die Anwendung eines Centrifugalventilators mit ebenen rectangulären Flügeln findet sich unter Anderem bei der in Fig. 341 abgebildeten, zum Reinigen des frisch ausgedroschenen Korns dienenden sogenannten Wannmühle. Wird das Flügelrad in der Richtung des beigesetzten Pfeils rund gedreht, so erzeugt es einen kräftigen Luftstrom, der sich der schiefen Ebene entlang von unten nach oben bewegt und die leichteren Staub- und Strohtheilchen mit sich fortreisst und wegbläst, wogegen die schweren Körner davon nicht afficirt werden und auf dieser Ebene herunterfallen.

Fig. 341.

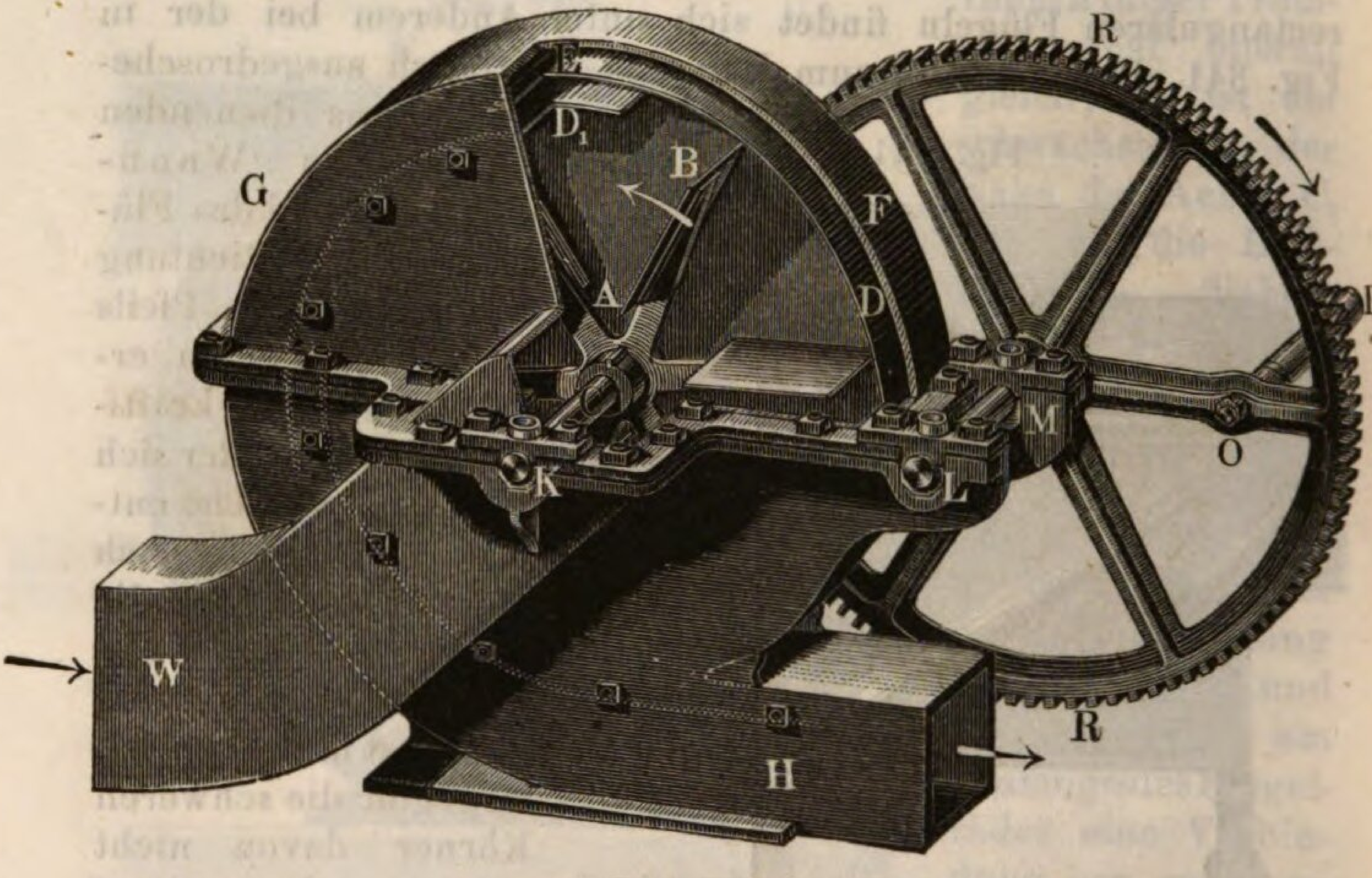


Einen sowohl als Sauger wie als Bläser dienenden Ventilator, der durch einen Arbeiter betrieben werden kann, zeigt die Fig. 342 (a. f. S.), in welcher ein Theil des Gehäuses weggelassen ist, um das innere Flügelrad sehen zu können. Die in den Lagern *K* laufende Welle hat sechs Blechschaufeln *AB* von 8 Zoll Breite und Höhe, welche an ihrem Umfange von drei Blechscheiben *DE* umgeben sind, die mit dem Gehäuse *FG* vier Luftkanäle bilden. Diese Kanäle erweitern sich allmälig von $^3/_4$ Zoll bis auf 2 Zoll und führen die von den Flügeln fortgeblasene Luft aus dem Gehäuse *FG* in tangentialer Richtung in den Blasekanal *H*. Um die Welle herum mündet der Saugkanal *W* in das Gehäuse. Das mit einer Kurbel *OP* versehene Zahnrad *RR* hat 102 Zähne und steht mit einem auf der Welle des Flügelrades befestigten Getriebe von 12 Zähnen im Eingriffe, so dass letzteres $8^1/_2$ Umläufe machen muss, wenn das Rad *RR* mittelst der Kurbel *OP* einmal rund gedreht wird.

Wenn der Centrifugalventilator zum Aufsaugen der Grubenluft verwendet werden soll, so stellt man ihn entweder un-

mittelbar über dem Schachte, aus welchem die Luft aufgesaugt werden soll, oder doch ganz in der Nähe desselben auf, und

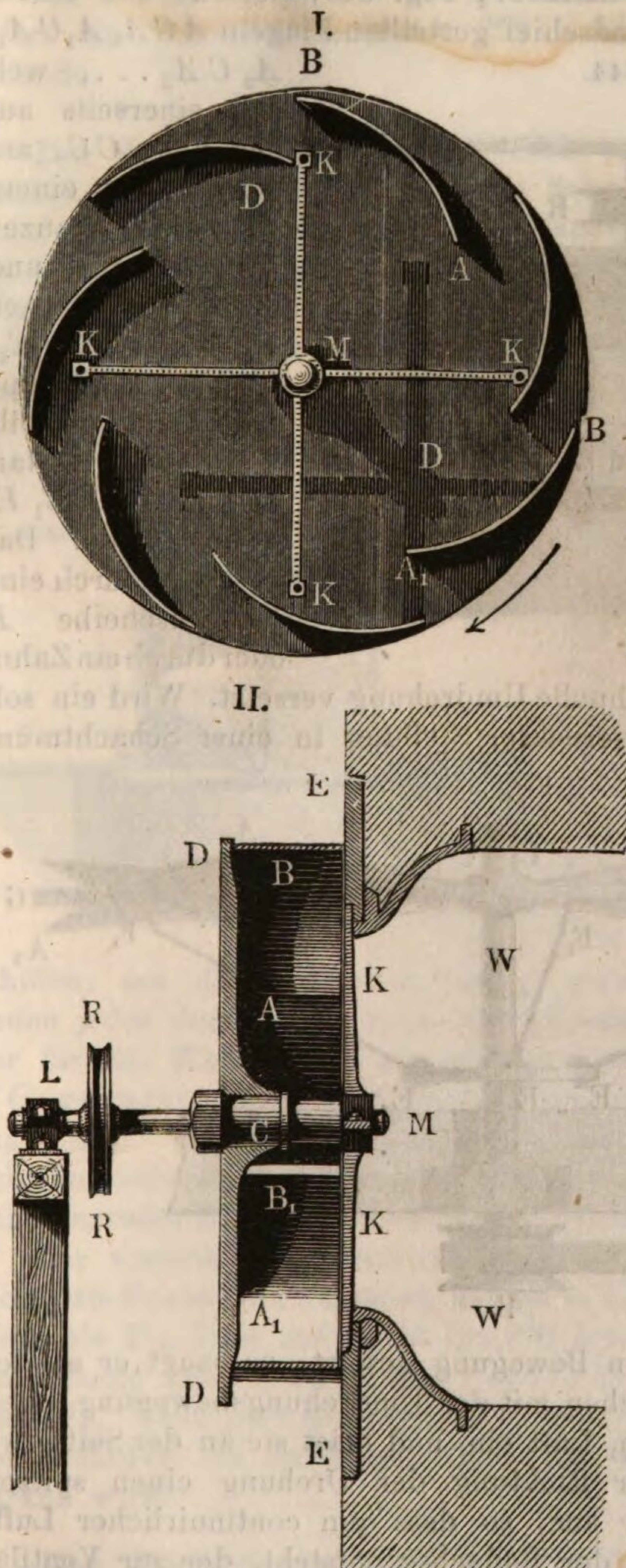
Fig. 342.



setzt in letzterem Falle die Schachtöffnung durch einen Kanal mit der an der Welle des Flügelrades befindlichen Oeffnung in Verbindung. Einen solchen Saugventilator nach der Construction von Combes zeigen die Figuren 343 I. und II. Die Schaufeln AB, $A_1 B_1$. . . sind dabei gekrümmt und einerseits auf einem Teller DD befestigt, während sie auf der anderen Seite an einem feststehenden Kranze nahe vorbeigehen. Die Welle C dieses Flügelrades liegt in den beiden Lagern L und M, von denen das letztere von einem auf der Umfangsmauer der Schachtmündung WW befestigten Kreuze KK getragen wird. Die Welle C wird durch eine darauf befestigte Riemenscheibe RR in eine so schnelle Rotation versetzt, dass sie in der Minute 124 bis 172 Umdrehungen macht, wobei das 3 Fuss 10 Zoll hohe und nahe $8\frac{1}{2}$ Zoll weite Flügelrad im Stande ist, in jeder Secunde 32 bis 64 Kubikfuss Luft aus dem Schachte WW einzusaugen und am Umfange des Rades auszublasen. Man sieht leicht, dass dieser Ventilator dieselbe Einrichtung hat, wie die Centrifugalpumpe (§. 162), welche dazu dient, Flüssigkeiten aufzusaugen und auf eine gewisse Höhe zu heben.

Wenn der vorstehend beschriebene Grubenventilator un-

Fig. 343.



mittelbar auf den Schacht gesetzt werden soll, so liegt natürlich das Flügelrad horizontal. Eine solche Aufstellung zeigt die Fig. 344 (a. f. S.); *WW* ist die Schachtmündung, *AB* das Flügelrad, *C* dessen Welle mit der Riemenscheibe *RR*, *DD* und *EE* sind zwei das Flügelrad seitlich deckende Teller. Um das Rad unter dem Teller *EE* luftdicht abzuschliessen, ist letzterer noch mit einem Blechcylinder *FF* versehen, der mit seinem unteren Ende in eine rings um *WW* laufende, mit Wasser gefüllte Rinne eintaucht und daher stets unter Wasser bleibt. Ein solcher Ventilator von 2 Fuss 8½ Zoll äusserem Radhalbmesser und 1 Fuss 1 Zoll Weite macht in der Minute 413 bis 542 Umdrehungen und saugt in dieser Zeit 78 bis 148 Kubikfuss Luft aus dem Schachte auf.

216 Der **Windrad-Ventilator**, Fig. 345, besteht aus einem Rade mit mehreren windschief gestellten Flügeln ACA, A_1CA_1, $A_2CA_2 \ldots$, welche einerseits auf der Nabe CC, andererseits an einem äusseren Kranze FG befestigt und durch die eisernen Stäbe FE, F_1E_1, $F_2E_2 \ldots$ gegen eine auf der Radwelle CD befestigte starke Scheibe EE_1E_2 gestützt sind. Das Rad wird durch eine Riemenscheibe R oder durch ein Zahnradvorgelege in eine schnelle Umdrehung versetzt. Wird ein solcher Ventilator in wagerechter Stellung in einer Schachtmün-

Fig. 344.

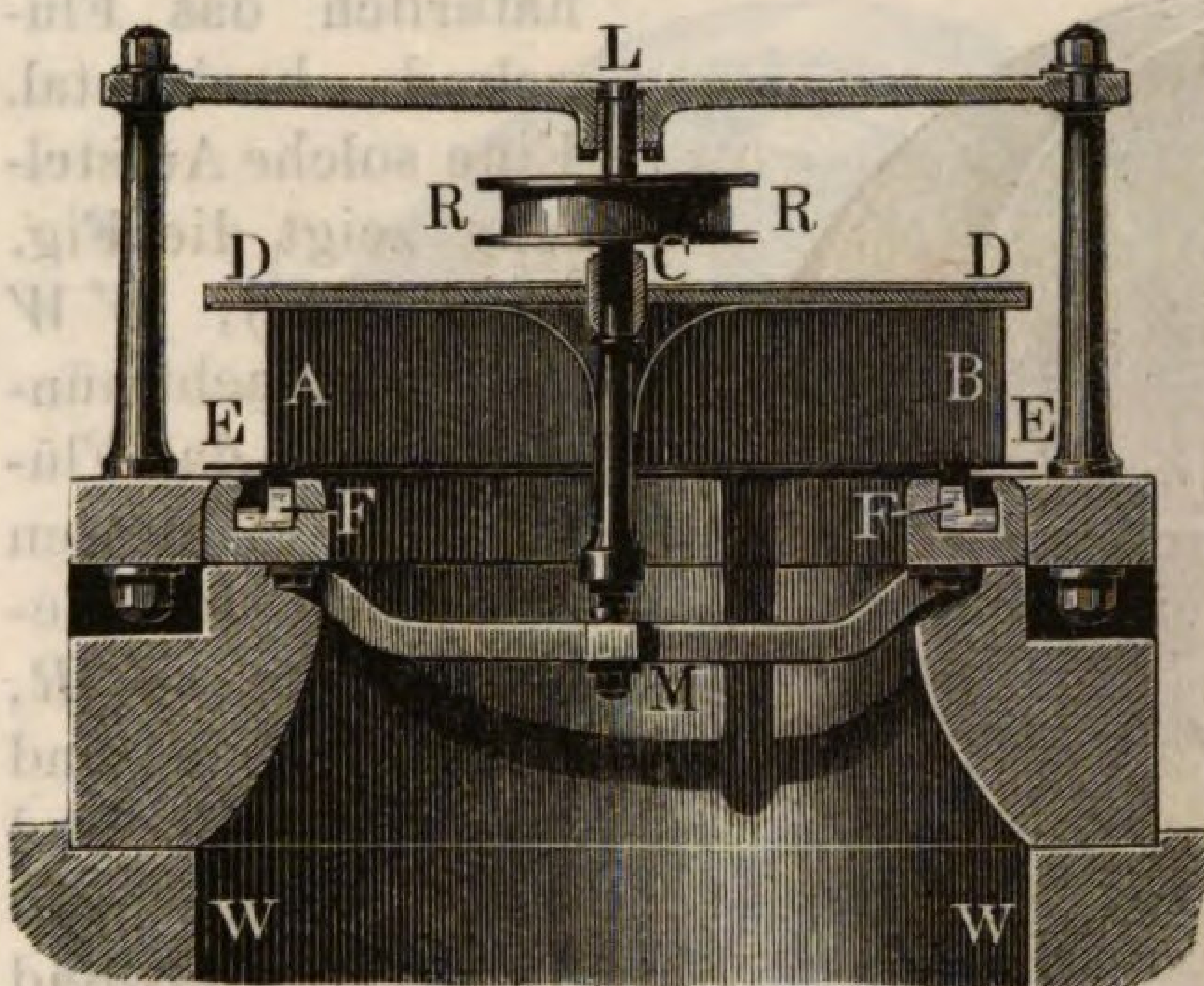
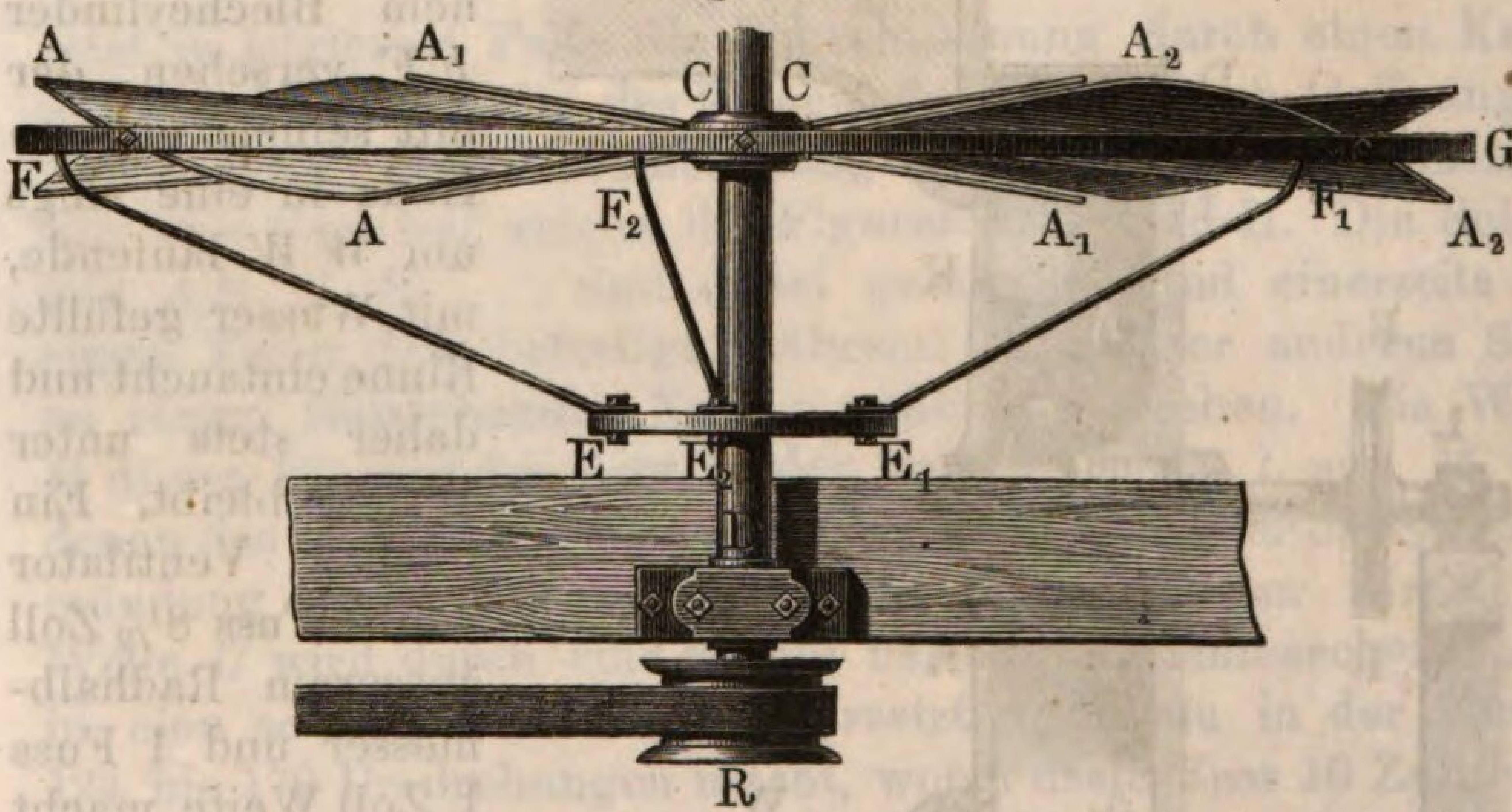


Fig. 345.

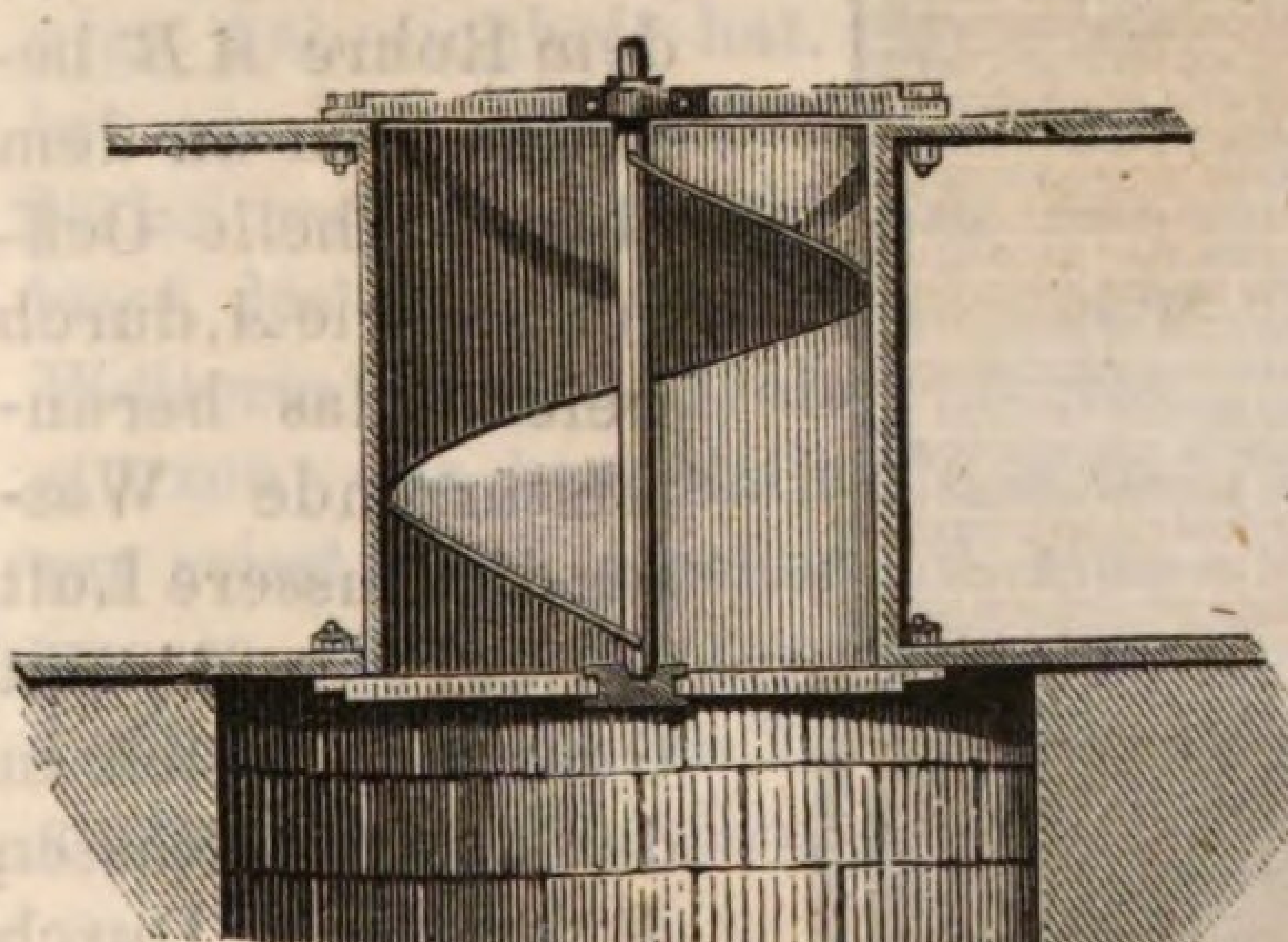


dung aufgestellt und in Bewegung gesetzt, so saugt er an der Seite, wo die Flügelflächen mit der Umdrehungsbewegung einen stumpfen Winkel bilden, Luft ein, und bläst sie an der Seite, wo diese Flächen mit der Richtung der Drehung einen spitzen Winkel bilden, wieder aus, so dass ein continuirlicher Luftstrom in der Richtung der Radachse entsteht, der zur Ventilation von Gruben vollständig ausreicht. Bei einem Durchmes-

ser von 8 Fuss 7 Zoll und $201\frac{1}{2}$ Umdrehungen in der Minute liefert ein Windrad-Ventilator 295 Kubikfuss Wetter in der Secunde.

Der Schrauben-Ventilator. Wir haben bereits in §. 149 gesehen, dass man die holländische Schraube dazu verwenden kann, um Flüssigkeiten, Mahlgut und andere zerkleinerte Gegenstände von einer Stelle an die andere zu bringen. In derselben Weise lässt sich eine solche Schraube auch dazu benutzen, um die Wetter aus einem Schachte aufzusaugen und ins Freie fortzuschaffen. Entweder stellt man, wie Fig. 346 zeigt, die Schraube 217

Fig. 346.



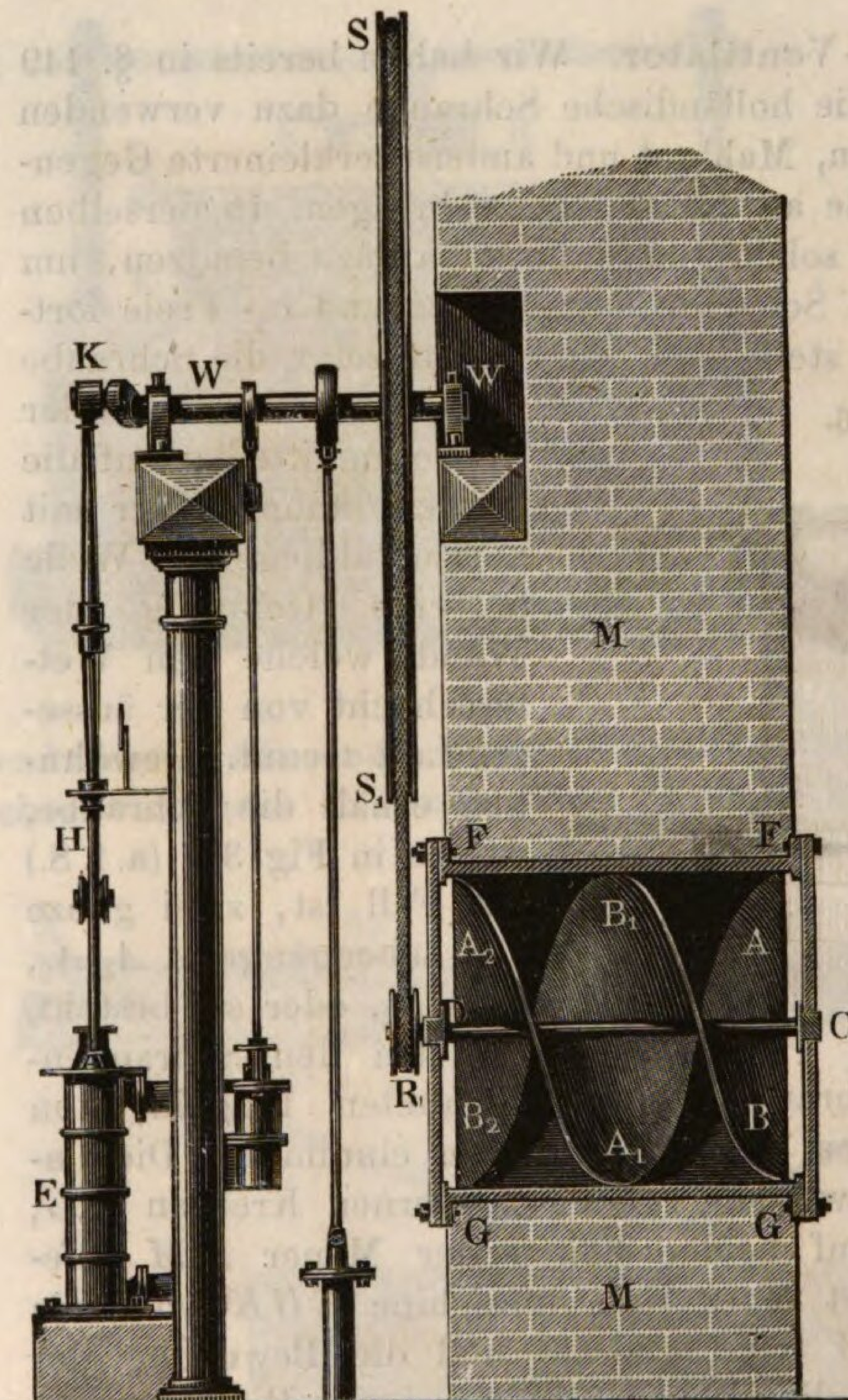
mit vertical stehender Welle unmittelbar auf die Schachtöffnung, oder mit horizontal liegender Welle in eine Oeffnung der Wand, welche den Wetterschacht von der äusseren Luft trennt. Gewöhnlich erhält die Schraube, wie es in Fig. 347 (a. f. S.) der Fall ist, zwei ganze Schraubengänge $A\,A_1\,A_2$, $B\,B_1\,B_2$, oder sie besteht, wie bei den Schraubenschiffen, aus drei schraubenförmig gestalteten Flügeln, von denen jeder den dritten Theil eines Kreises einnimmt. Die Lager für die Welle C werden von zwei eisernen Kreuzen $F\,G$, $F\,G$ getragen, die auf beiden Seiten der Mauer $M\,M$ befestigt sind. Vermittelst einer Dampfmaschine $E\,H\,K$ wird die Schwungradwelle $W\,W$ rund gedreht und die Bewegung des Schwungrades $S\,S_1$ auf die kleinere Riemenscheibe R übertragen.

Die vorstehende Wetterschraube auf der Kohlengrube zu Monceau-Fontaine in Belgien hat einen Durchmesser von etwas mehr als $2\frac{1}{2}$ Fuss und giebt bei 600 bis 750 Umdrehungen in der Minute eine Wettermenge von 58 bis 70 Kubikfuss in der Secunde. Uebrigens ist leicht einzusehen, dass dieselbe je nach der Richtung der Drehung sowohl als Sauger wie als Bläser wirken wird.

Das Wassertrommelgebläse, Fig. 348 (a. S. 443), gehört zu den ältesten Gebläsevorrichtungen, kommt aber auch jetzt noch 218

in Gebirgsgegenden vor, wo man über ein hohes Wassergefälle verfügen kann. Dasselbe besteht aus einem Wasserbehälter *E*, aus welchem das Wasser durch eine verticale mindestens 12 Fuss lange Röhre *AB* in einen darunter stehenden, oben geschlossenen Kasten *R* herunterstürzt, um von da durch die Oeffnung *F* abzufliessen. In dem Rohre *AB* befinden sich an dem oberen Theile Oeffnungen wie *A*, durch welche das herunterstürzende Wasser die äussere Luft einsaugt und mit Gewalt mit sich in den unteren Kasten *R* fortreisst. Durch das Aufschlagen des Wassers auf die Bank *K* sondert sich die Luft leicht von dem Wasser, sammelt sich in dem oberen Theile des Kastens *R* an, erlangt bald eine Spannung, welche grösser ist als der äussere Luftdruck, und strömt dann in einem regelmässigen Strome aus dem Windkasten *C* durch die Düse *D* aus. Zur Regulirung des Aufschlagewassers lässt sich die trichterförmige Einfallsöffnung der Röhre *AB* durch einen Stöpsel *Z* mehr oder weniger verengen.

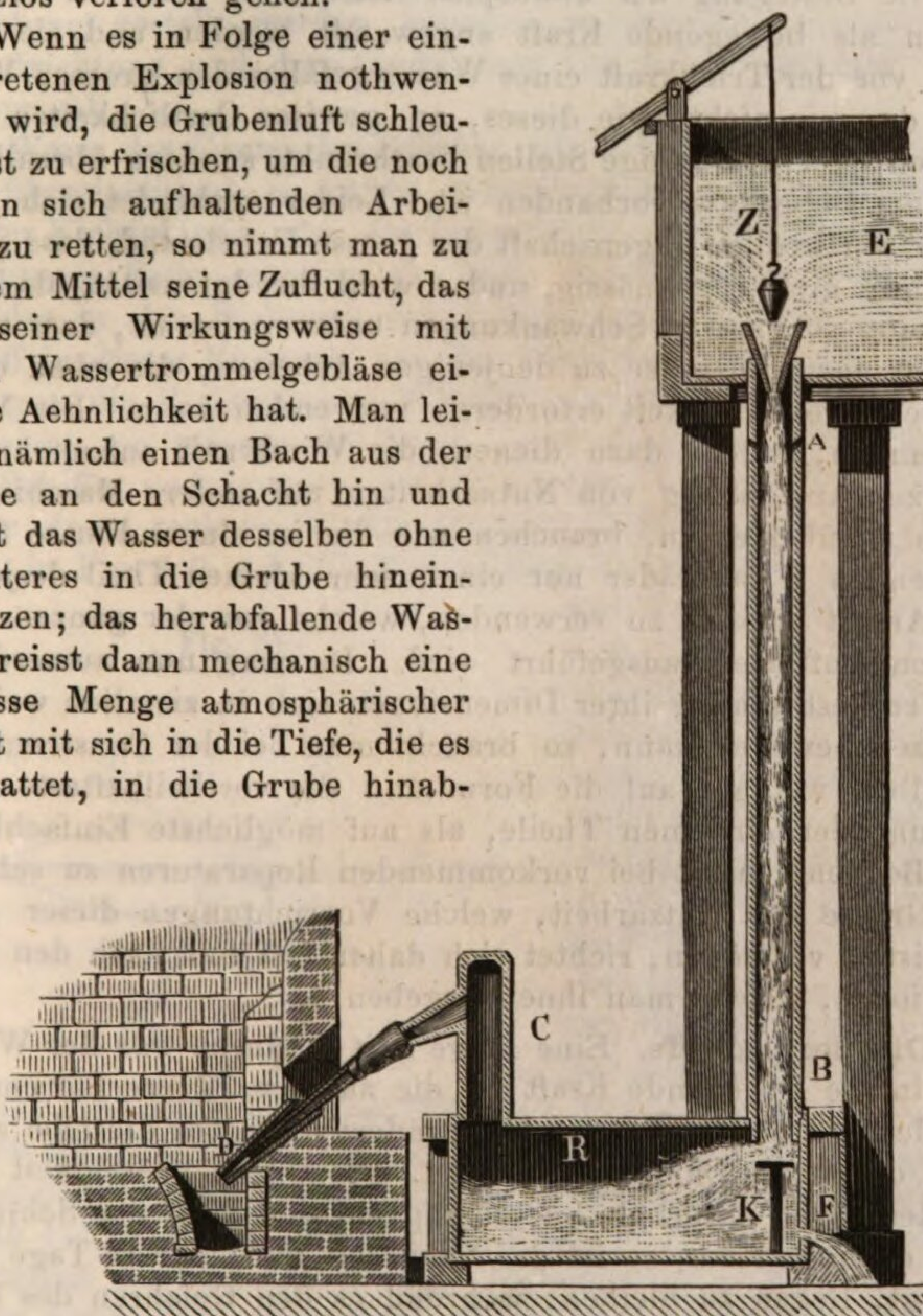
Fig. 347.



Die Wassertrommelgebläse liefern zwar einen sehr constanten Wind, sind aber sonst rücksichtlich ihrer Nutzleistung von geringem Vortheil; in der That beträgt die Arbeit, welche erforderlich ist, um die nothwendige Pressung der Luft im

Windkasten *C* hervorzubringen, nur 15 Procent der ganzen von dem herunterstürzenden Wasser geleisteten Arbeit, wonach also volle 85 Procent dieser Arbeit nutzlos verloren gehen.

Fig. 348.



Wenn es in Folge einer eingetretenen Explosion nothwendig wird, die Grubenluft schleunigst zu erfrischen, um die noch darin sich aufhaltenden Arbeiter zu retten, so nimmt man zu einem Mittel seine Zuflucht, das in seiner Wirkungsweise mit dem Wassertrommelgebläse einige Aehnlichkeit hat. Man leitet nämlich einen Bach aus der Nähe an den Schacht hin und lässt das Wasser desselben ohne Weiteres in die Grube hineinstürzen; das herabfallende Wasser reisst dann mechanisch eine grosse Menge atmosphärischer Luft mit sich in die Tiefe, die es gestattet, in die Grube hinabzusteigen, um den Verunglückten zu Hülfe zu kommen, und die für die nächste Zeit ausreichend ist, um die dringendsten Arbeiten wieder aufzunehmen.

8. Der Wind als bewegende Kraft.

219 Die Bewegung der atmosphärischen Luft kann in vielen Fällen als bewegende Kraft angewandt werden und sie hat dann vor der Triebkraft eines Wassergefälles den grossen Vorzug, dass sie nicht, wie dieses, an gewisse Oertlichkeiten gebunden oder auf wenige Stellen beschränkt, sondern überall in grossem Ueberfluss vorhanden ist. Leider verbindet sich mit dieser werthvollen Eigenschaft der grosse Uebelstand, dass ihre Wirkung nicht regelmässig, und sowohl ihre Intensität, als ihre Richtung so grossen Schwankungen unterworfen ist, dass man sie nur ausnahmsweise zu denjenigen Arbeiten, die eben eine grosse Regelmässigkeit erfordern, verwenden kann. Die Vorrichtungen, welche dazu dienen, die Windkraft aufzunehmen und zur Ausführung von Nutzarbeiten auf andere Maschinentheile zu übertragen, brauchen wie die in einem Flusse freihängenden Wasserräder nur einen sehr kleinen Theil derjenigen Arbeit nutzbar zu verwenden, welche von der ganzen bewegten Luftmasse ausgeführt wird. Da man nun ausserdem bei der Bestimmung ihrer Dimensionen sich in ziemlich weiten Gränzen bewegen kann, so braucht man bei der Construction derselben weniger auf die Form und die vortheilhafteste Anordnung der einzelnen Theile, als auf möglichste Einfachheit und Bequemlichkeit bei vorkommenden Reparaturen zu sehen. Die Grösse der Nutzarbeit, welche Vorrichtungen dieser Art zu leisten vermögen, richtet sich daher fast nur nach den Dimensionen, welche man ihnen gegeben hat.

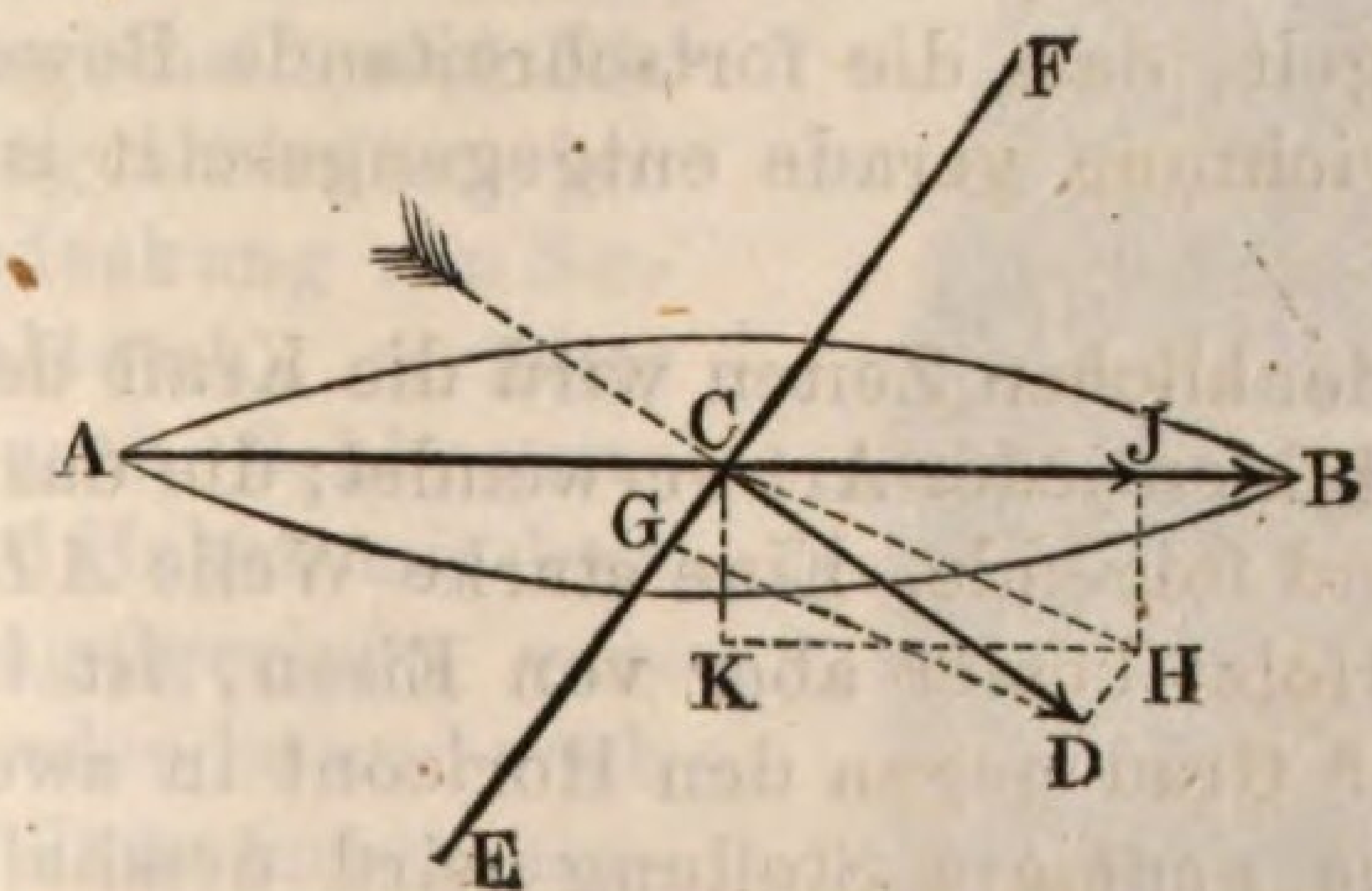
220 **Die Segelschiffe.** Eine lange Zeit hindurch war der Wind die einzige bewegende Kraft für die auf dem Meere fahrenden Schiffe, und erst in diesem Jahrhundert sehen wir dieselbe zum Theil durch die Dampfkraft ersetzt. Die Unregelmässigkeit des Windes wirkt natürlich nachtheilig auf den Lauf des Schiffes; setzt er einmal aus, so ist das Schiff oft für mehrere Tage genöthigt, liegen zu bleiben, während es den Gefahren des Unterganges ausgesetzt ist, wenn er zu einem Sturme anwächst. Hat aber einmal der Wind eine Geschwindigkeit, welche einer guten Fahrt entspricht, so stimmt in den seltensten Fällen seine Richtung mit derjenigen überein, welche das Schiff zu verfolgen hat.

Damit ein Schiff die zu seiner Fortbewegung nöthige Kraft des Windes aufnehmen könne, versieht man es mit einem oder

mehreren Masten und sonstigen Vorrichtungen, an denen die Segel aufgehängt und mittelst besonderer Tauwerke je nach dem Bedürfnisse ausgespannt, zusammengelegt und in eine Richtung gestellt werden können, welche der herrschenden Windrichtung und dem Cours, den das Schiff verfolgen soll, entspricht.

Wenn der Cours des Schiffes mit der Richtung des Windes übereinstimmt, so werden selbstredend die Segel senkrecht zu der Kielrichtung oder der Längenachse des Schiffes gestellt; in diesem Falle erhalten die Segel den normalen Druck des Windes in der Richtung der Längenachse, so dass sich das Schiff in dieser Richtung von der Stelle bewegen muss. Wenn dagegen die Richtung des Windes von der des Schiffscourses abweicht, so müssen die Segel schief gegen die Kielrichtung des Schiffes und zwar so gestellt werden, dass der Wind nicht unter einem rechten Winkel auf ihre Fläche aufstösst. Es sei z. B. in Fig. 349 AB die Kielrichtung des Schiffes, in welcher sich dasselbe fortbewegen soll, und CD stelle den Winddruck gegen das Segel EF dar; letzteres werde so gestellt, dass es den Winkel DCA halbirt. Zerlegt man den Winddruck CD in die beiden Seitenkräfte CG und CH, von denen erstere parallel, letztere senkrecht zu der Segelfläche wirkt, so kommt jene Kraft nicht zur Wirkung, da sie an dem Segel ohne Druck abgleitet, diese dagegen wird in voller Stärke vom Segel aufgenommen und zerlegt sich nochmals in die beiden Seitenkräfte CI und CK. Die erstere Kraft, CI, bringt die Fortbewegung des Schiffes in der Kielrichtung zu Stande, die zweite Kraft, CK, aber sucht das Schiff unter rechtem Winkel von dem Course AB abzutreiben und bringt einen Seitendruck zu Wege, der durch den grossen Widerstand des Wassers gegen die Breitseite des Schiffes theilweise aufgehoben wird, im Uebrigen aber sich mit dem Widerstande des Wassers, der durch die Stellung des Steuers hervorgerufen wird, zusammensetzt.

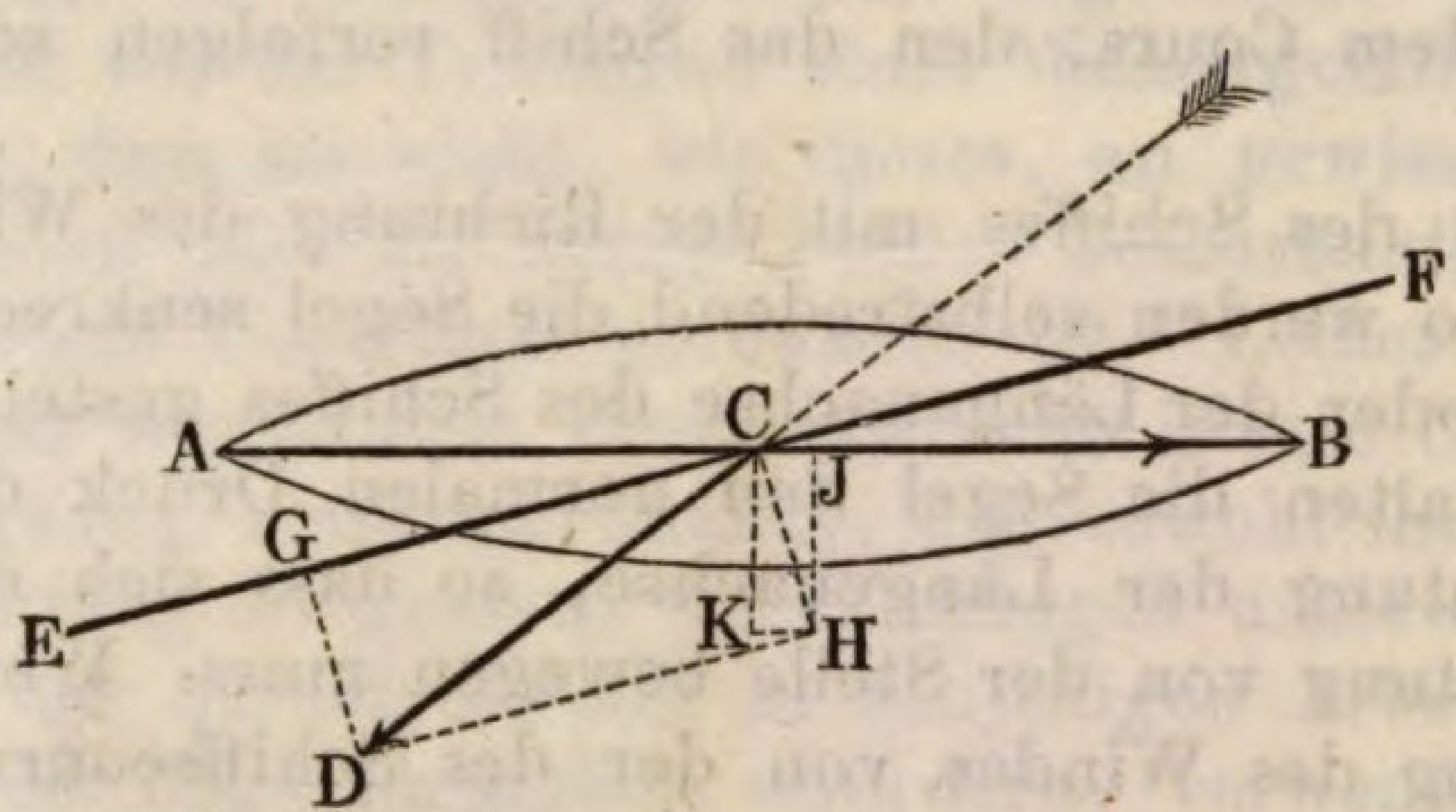
Fig. 349.



Durch eine geeignete Stellung des Segels in Bezug auf die Kiel- und Windrichtung ist es sogar möglich, bloss mit

Segeln dem Winde fast entgegen zu fahren. Es sei z. B. in Fig. 350 wieder AB die Kiel-, CD die Windrichtung, EF das den Winkel DCA halbirende Segel. Der Winddruck CD zerlegt sich in die Seitenkräfte CG und CH, von denen erstere unwirksam ist, und letztere nochmals in die Seitenkräfte CI und CK zerlegt wird. Die Kraft CI treibt dann das Schiff in der Richtung AB fort, während der Wind in der dem Course AB beinahe entgegengesetzten Richtung CD wirkt. Nimmt man zu den Segeln noch das Steuer zu Hülfe, so lässt es sich sogar erreichen, indem man bald auf der einen, bald auf der anderen Seite des Windes lavirt und so im Zickzack fortsegelt, dass die fortschreitende Bewegung des Schiffes der Windrichtung gerade entgegengesetzt ist.

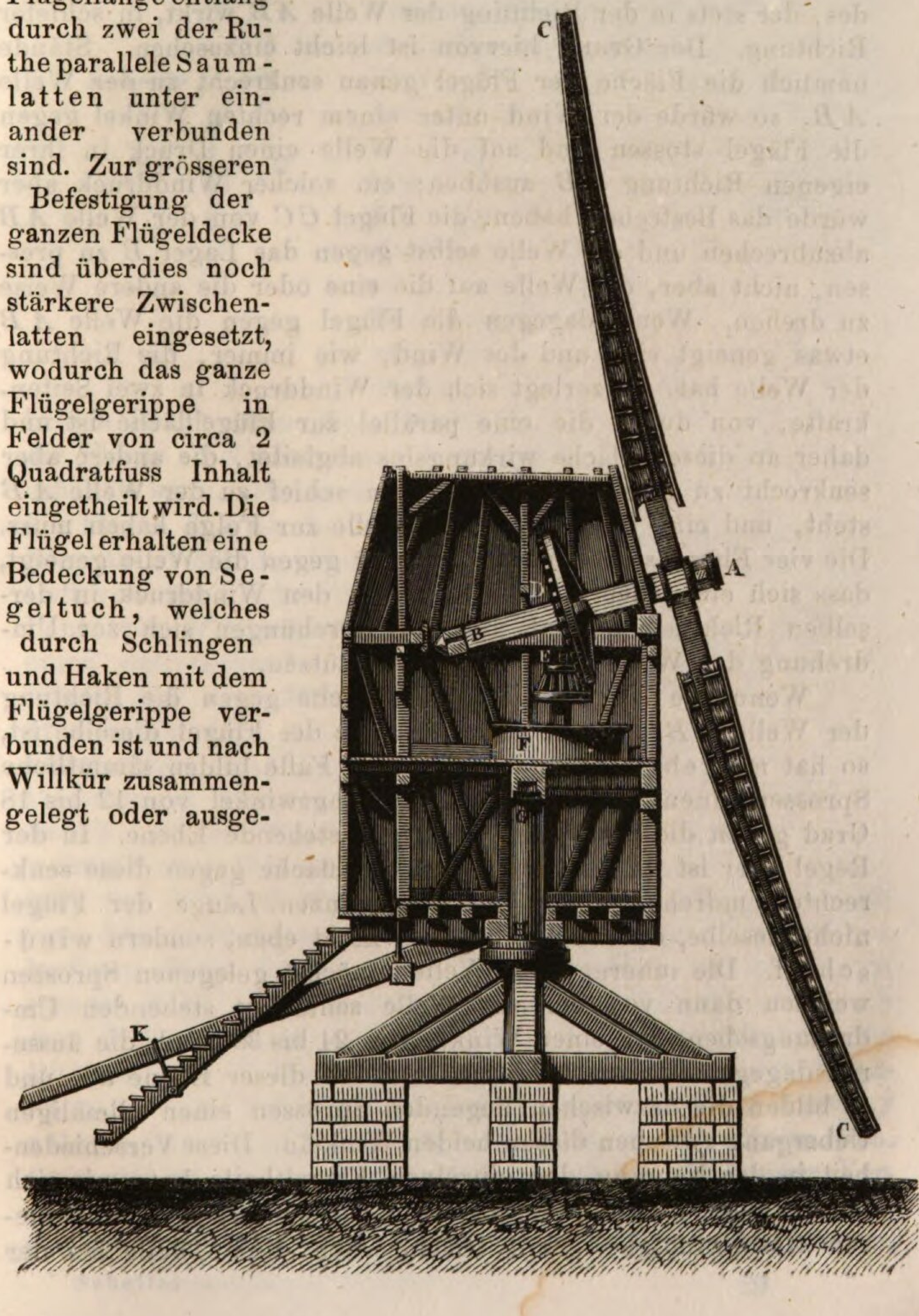
Fig. 350.



221 **Windmühlen.** Seit undenklichen Zeiten wird die Kraft des Windes zum Betriebe von Mühlen jeder Art verwendet; die dazu dienenden Vorrichtungen sind folgende. Eine starke Welle AB, Fig. 351, gewöhnlich von Holz, besser aber von Eisen, ist in einer Neigung von 10 bis 15 Grad gegen den Horizont in zwei Lagern fest unterstützt. Die geneigte Stellung wird desshalb gewählt, weil man beobachtet hat, dass der Wind in der Regel nicht in horizontaler, sondern in einer schiefen Richtung weht, welche mit der Oberfläche der Erde einen kleinen Winkel macht; ausserdem aber bleiben bei der geneigten Stellung der Welle AB die Flügel C während ihrer Umdrehung in gehöriger Entfernung von der Mühle und kann das ganze Flügelrad eine festere Unterstützung in seinen Lagern erhalten. Der Kopf A der Welle ist mit vier in rechten Winkeln zu einander und zu der Welle gestellten langen Armen, Windruthen genannt, versehen, welche die Achse einer langen, aber verhältnissmässig schmalen, fast rechteckigen Fläche C, C bilden, die man Windflügel nennt. Die Windruthen sind circa 30 Fuss lang, nahe an der Welle 1 Fuss dick und 9 Zoll breit, am äussersten Ende aber nur 6 Zoll dick und $4\frac{1}{2}$ Zoll

breit. In Abständen von $1^1/_4$ bis $1^1/_2$ Fuss sind sie durchlocht und mit hölzernen, durch die Löcher der Ruthe hindurchgehenden Querarmen, Sprossen, versehen, deren äussere Enden der ganzen Flügellänge entlang durch zwei der Ruthe parallele Saumlatten unter einander verbunden sind. Zur grösseren Befestigung der ganzen Flügeldecke sind überdies noch stärkere Zwischenlatten eingesetzt, wodurch das ganze Flügelgerippe in Felder von circa 2 Quadratfuss Inhalt eingetheilt wird. Die Flügel erhalten eine Bedeckung von Segeltuch, welches durch Schlingen und Haken mit dem Flügelgerippe verbunden ist und nach Willkür zusammengelegt oder ausge-

Fig. 351.



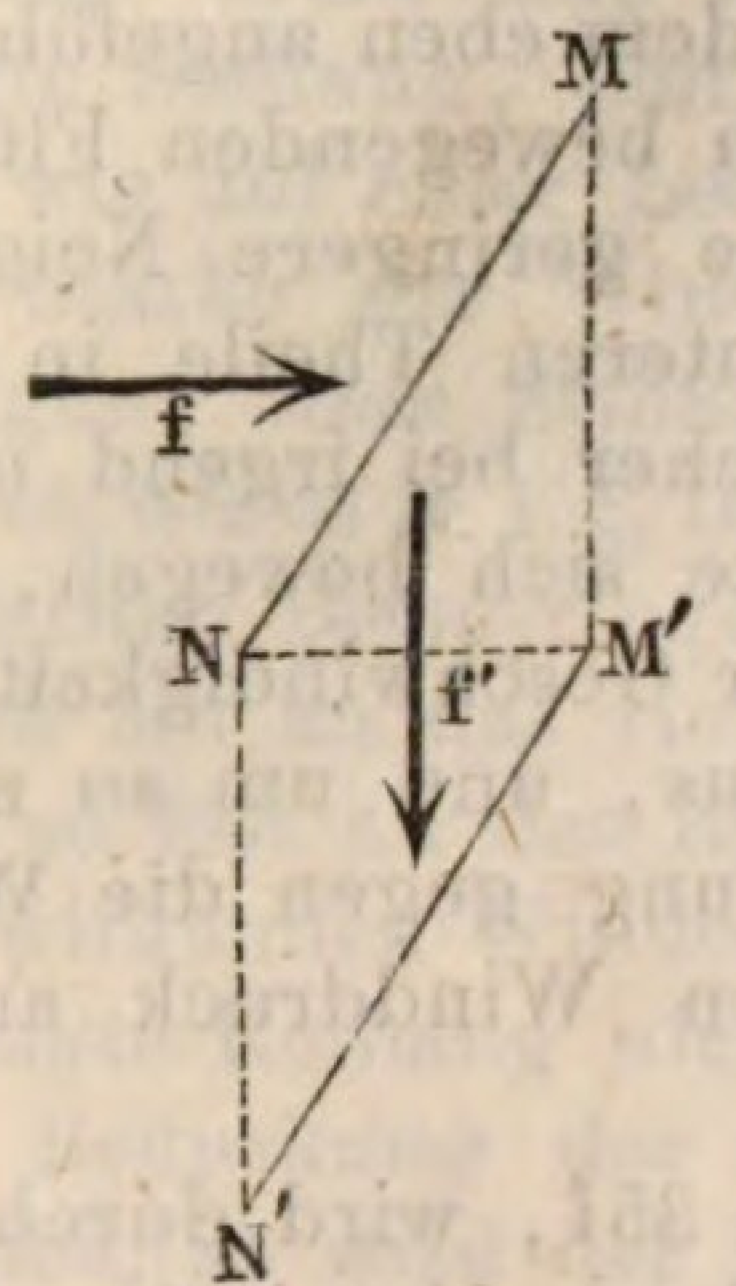
breitet werden kann, um den Winddruck aufzunehmen und die Flügelwelle rund zu treiben.

Die Oberfläche der Flügel steht nicht zu der Welle *AB* senkrecht; sie bildet vielmehr mit der senkrechten Ebene einen bestimmten Winkel und empfängt daher den Druck des Windes, der stets in der Richtung der Welle *AB* wirkt, in schiefer Richtung. Der Grund hiervon ist leicht einzusehen. Stände nämlich die Fläche der Flügel genau senkrecht zu der Welle *AB*, so würde der Wind unter einem rechten Winkel gegen die Flügel stossen und auf die Welle einen Druck in ihrer eigenen Richtung *AB* ausüben; ein solcher Winddruck aber würde das Bestreben haben, die Flügel *CC* von der Welle *AB* abzubrechen und die Welle selbst gegen das Lager *B* zu pressen, nicht aber, die Welle auf die eine oder die andere Weise zu drehen. Wenn dagegen die Flügel gegen die Welle *AB* etwas geneigt sind und der Wind, wie immer, die Richtung der Welle hat, so zerlegt sich der Winddruck in zwei Seitenkräfte, von denen die eine parallel zur Flügelfläche ist und daher an dieser Fläche wirkungslos abgleitet, die andere aber senkrecht zu dieser Fläche, mithin schief zu der Welle *AB* steht, und eine Umdrehung der Welle zur Folge haben muss. Die vier Flügel sind übrigens derartig gegen die Welle geneigt, dass sich ein jeder von ihnen durch den Winddruck in derselben Richtung bewegt und ihre Drehungen sich zur Umdrehung der Welle gegenseitig unterstützen.

Wenn die Neigung der Flügelfläche gegen die Richtung der Welle *AB* auf der ganzen Länge der Flügel dieselbe ist, so hat man ebene Flügel; in diesem Falle bilden sämmtliche Sprossen einen und denselben Neigungswinkel von 12 bis 18 Grad gegen die zur Welle senkrecht stehende Ebene. In der Regel aber ist die Neigung der Flügelfläche gegen diese senkrechte Umdrehungsebene auf der ganzen Länge der Flügel nicht dieselbe, die Flügel sind also nicht eben, sondern windschief. Die inneren, der Welle zunächst gelegenen Sprossen weichen dann von der zur Welle senkrecht stehenden Umdrehungsebene um einen Winkel von 24 bis 30 Grad, die äusseren dagegen nur um 6 bis 10 Grad von dieser Ebene ab, und es bilden die dazwischen liegenden Sprossen einen allmäligen Uebergang zwischen diesen beiden Winkeln. Diese Verschiedenheit in der Neigung der einzelnen Flügeltheile hat, wie sich leicht zeigen lässt, ihren Grund in der grösseren oder kleineren Geschwindigkeit, mit welcher sich diese Theile bei der

Umdrehung um die Welle bewegen. Es sei z. B. MN, Fig. 352, ein solcher Theil eines Windflügels, und nehmen wir an, der Wind bewege sich in der Richtung des Pfeiles f, während sich der Flächentheil MN um die in der Richtung des Windes liegende Welle, also senkrecht zu f in der Richtung des Pfeiles f' bewegt. Wenn dann in der Zeit, in welcher die Fläche MN in die Lage $M'N'$ übergeht, ein in N befindliches Lufttheilchen in Folge seiner eigenen Geschwindigkeit genau die Strecke von N bis M' durchläuft, so ist klar, dass dasselbe in seiner Bewegung durch die Fläche MN nicht aufgehalten wird, dass es bloss an dieser Fläche hingleitet und daher keinen Druck gegen diese Fläche ausüben kann. Damit also die Fläche MN überhaupt von Seiten des Windes einen Druck erhalten kann, müssen die Lufttheilchen während der Zeit, wo die Fläche MN in die Lage $M'N'$ übergeht, einen grösseren Weg als NM' durchlaufen, denn in diesem Falle wird die Luft von der Fläche MN aufgehalten und sie übt auf jeden Punkt von MN während ihres Hingleitens längs dieser Fläche einen entsprechenden Druck aus. Je schneller sich nun die Fläche MN nach $M'N'$ hin bewegt, um so weniger Zeit gebraucht sie dazu, um von der Lage MN in die von $M'N'$ überzugehen, und um so kürzere Strecken werden die Lufttheilchen in dieser Zeit in der Richtung NM' durchlaufen. Behält nun der Wind seine Geschwindigkeit unverändert bei, während man MN nacheinander immer schneller in der Richtung von f' bis $M'N'$ bewegt, so muss nothwendig, damit die von den Lufttheilchen in der zuletzt genannten Zeit durchlaufenen Wege immer noch grösser bleiben als NM', die Strecke NM' selbst in demselben Maasse kleiner werden, als man MN schneller bewegt; oder mit anderen Worten, die Richtung von MN muss sich immer mehr der, auf der Windrichtung oder auf der Flügelwelle senkrechten Richtung f nähern; je mehr sich nämlich MN der zu f senkrechten Richtung nähert, um so kleiner ist, bei gleich bleibender Verschiebung von MN um die Strecke NN', die Diagonale NM' des Parallelogramms $MNN'M'$. Es ist nun leicht einzusehen,

Fig. 352.



dass sich die einzelnen Theile eines Windflügels genau in der eben bezeichneten Lage befinden; sie bewegen sich um so geschwinder, je weiter sie von der Welle entfernt sind, während der Wind, der einen Druck auf sie ausüben soll, für alle Fügeltheile dieselbe Geschwindigkeit hat. Aus dem eben angeführten Grunde müssen daher die langsamer sich bewegenden Flügeltheile in der Nähe der Flügelwelle eine geringere Neigung gegen die Welle haben, als die entfernteren Theile in der Mitte und am Ende der Flügel. Je rascher bei irgend einer geneigten Stellung gegen die Welle diese sich bewegen, um so mehr weichen sie bei gleich bleibender Geschwindigkeit des Windes dem Druck der bewegten Luft aus, und um so mehr müssen sie sich der rechtwinkeligen Stellung gegen die Welle nähern, damit sie im Stande sind, den Winddruck aufzufangen.

Die Umdrehung der Welle *AB*, Fig. 351, wird durch ein gezahntes Zwischenrad *D* zunächst auf ein konisches Getriebe *E* und von dessen verticaler Welle auf den Läufer *F* übertragen. Der ganze Körper der Mühle nebst den Windflügeln lässt sich vermittelst eines langen Holzsterzes *K* um eine starke hölzerne Welle *GH* (die Königswelle) drehen und so einstellen, dass der Wind stets in der Richtung der Flügelwelle *AB* einfällt. Die Drehung wird erleichtert, wenn man auf den Sterz *K* einen Kreuzhaspel aufsetzt, und durch Drehung desselben ein mit seinem freien Ende in einiger Entfernung auf der Erde befestigtes Seil aufwindet. Bei der Drehung dieses Haspels verkürzt sich dann dieses Seil immer mehr, und da es auf der Erde befestigt ist, so zieht es den Haspel selbst nebst dem Sterze *K* an sich heran.

Die Windmühlen dieser Art, deren innere Einrichtung mancherlei Verschiedenheiten darbieten, werden häufig zum Betriebe von Mahlgängen (I. §. 177), von Sägemühlen (I. §. 179), von holländischen Schrauben (I. §. 148), von Pumpenwerken jeder Art u. s. w. angewendet.

222 **Regulirung der Windflügelbedeckung.** Wenn die Windmühle in Stillstand gesetzt werden soll, legt man die auf den Flügeln ausgebreiteten Segel nach den Windruthen hin zusammen und bindet sie an diesen fest; da bei dieser Anordnung der Segel die Flügelflächen durchbrochen sind, so lassen sie den Wind hindurchgehen und bleiben still stehen. Um sie wieder in Gang zu setzen, müssen, nachdem man vorher durch

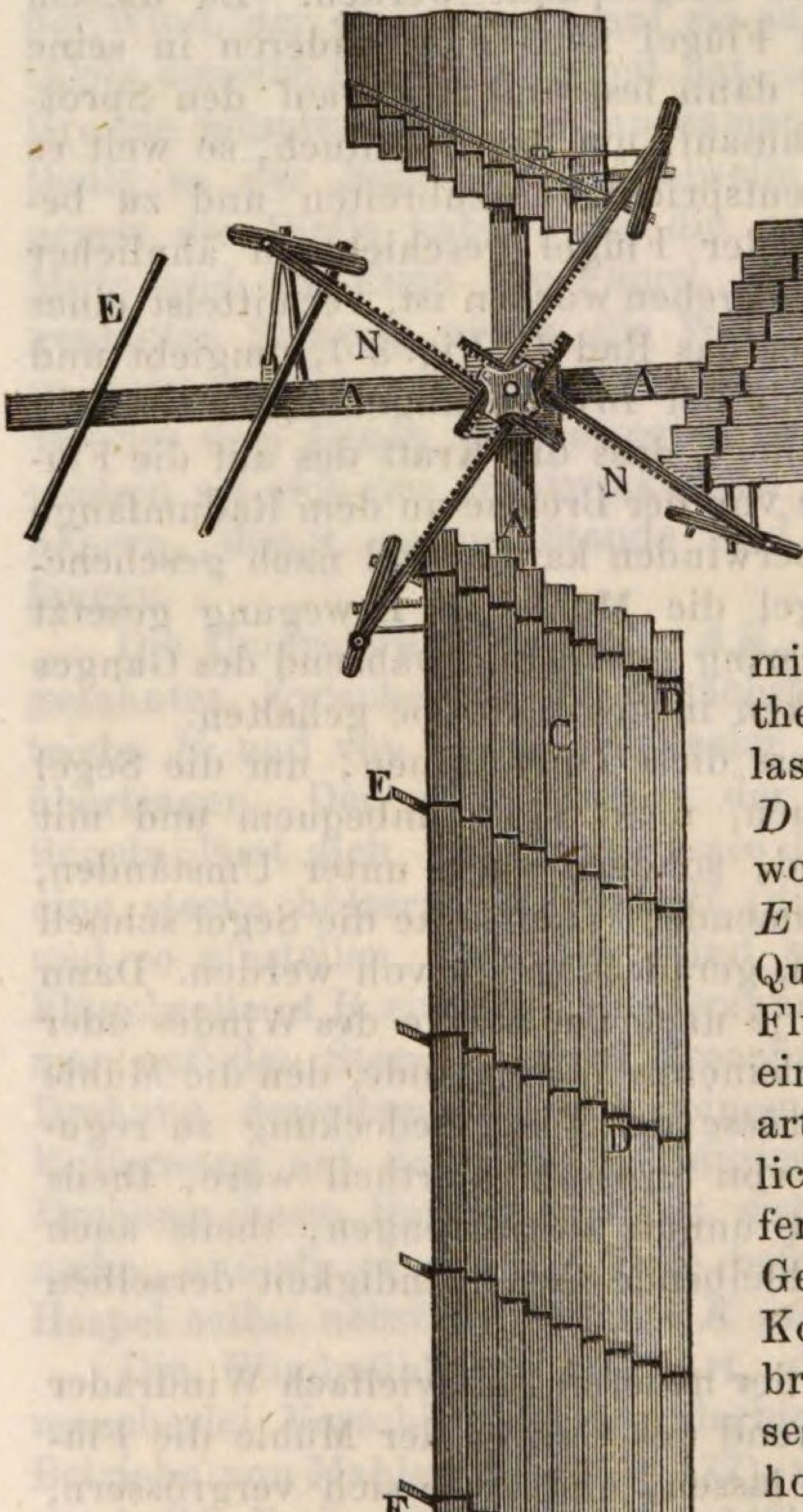
Drehung des ganzen Mühlenkörpers um den Königsbaum die Flügelwelle in die Windrichtung gestellt hat, die Segel gelöst und über die Flügelfläche ausgespannt werden. Zu diesem Zwecke dreht man einen Flügel nach dem anderen in seine tiefste Stellung, hält ihn dann fest und steigt auf den Sprossen wie auf einer Leiter hinauf, um das Segeltuch, so weit es der Stärke des Windes entspricht, auszubreiten und zu befestigen. Das Stillhalten der Flügel geschieht in ähnlicher Weise, wie es in I. §. 168 angegeben worden ist, vermittelst eines hölzernen Bremsringes, der das Rad *D*, Fig. 351, umgiebt und durch ein an das Hebelende der Bremse angehängtes Gewicht sich so fest an das Rad anlegt, dass die Kraft des auf die Flügel wirkenden Windes die von der Bremse an dem Radumfange erzeugte Reibung nicht überwinden kann. Soll nach geschehener Bedeckung der Flügel die Mühle in Bewegung gesetzt werden, so wird der Bremsring gelöst und während des Ganges derselben durch einen Haken in der Schwebe gehalten.

Man sieht hieraus, dass diese Operationen, um die Segel auszubreiten und einzuziehen, nicht bloss unbequem und mit Zeitverlust verbunden sind, sondern auch unter Umständen, wenn z. B. bei rasch zunehmender Windstärke die Segel schnell eingezogen werden müssen, geradezu gefahrvoll werden. Dann aber ist es nicht thunlich, je nach der Stärke des Windes oder nach dem grösseren oder kleineren Widerstande, den die Mühle zu überwinden hat, die Grösse der Flügelbedeckung zu reguliren, was doch offenbar von grossem Vortheil wäre, theils um die Maschinerie nicht unnütz anzustrengen, theils auch um eine möglichst gleich bleibende Geschwindigkeit derselben zu erhalten.

Man wendet daher in der neueren Zeit vielfach Windräder an, bei welchen sich während des Ganges der Mühle die Flügelflächen leicht reguliren lassen, und zwar sich vergrössern, wenn die Windgeschwindigkeit abnimmt, dagegen sich verkleinern, wenn der Wind zunimmt. Die Fig. 353 (a. f. S.) zeigt eine solche Einrichtung. Die Flügelwelle ist wie gewöhnlich mit vier Ruthen *A*, *A*.. versehen, welche als Träger der Flügel dienen; die Sprossen und das Segeltuch aber sind durch eine Anzahl von Latten *C*, *C* . . ersetzt, welche zum Theil übereinandergreifen, sich gegenseitig überdecken und so nach Art der Jalousien eine gegen die Richtung der Flügelwelle geneigte Fläche bilden. Diese Latten sind durch Bänder *D*, *D* . . mit den Querstangen *E*, *E* . . , und letztere selbst in den verschiedenen

Punkten der Ruthen *A*, *A* derart befestigt, dass sie sich um diese Punkte drehen und mehr oder weniger spitze Winkel

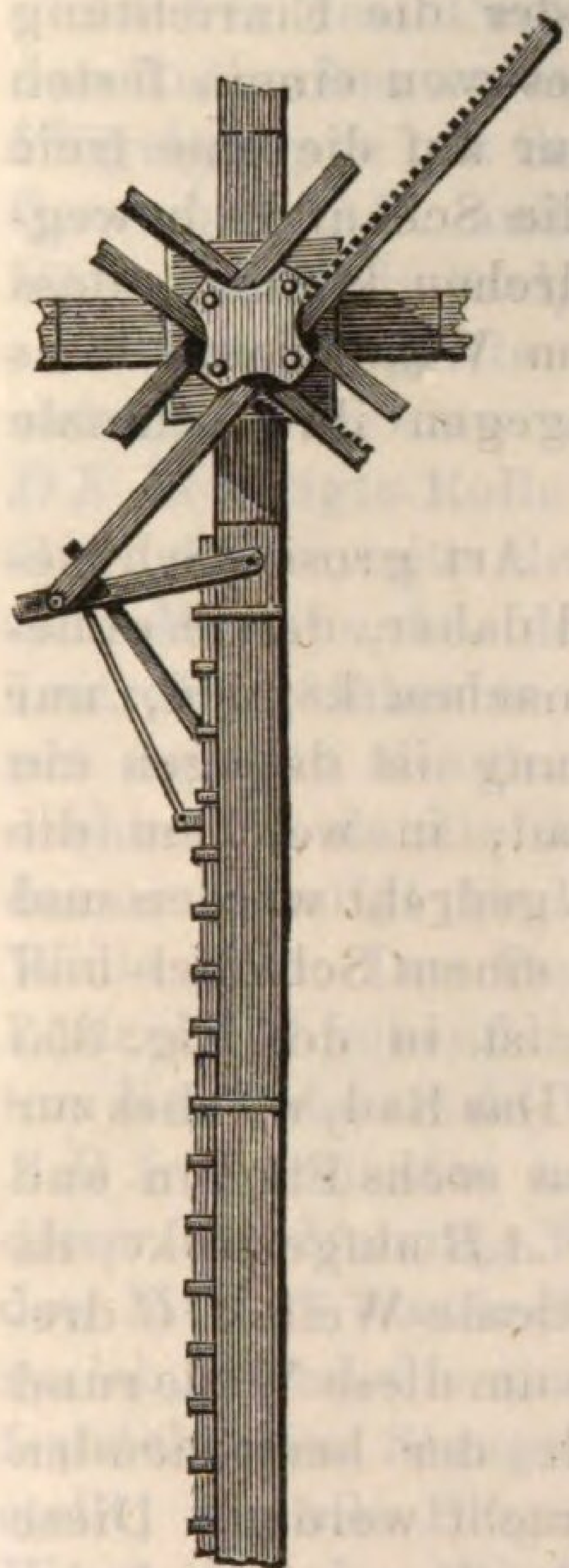
Fig. 353.



mit der Richtung dieser Ruthen bilden können; ebenso lassen sich auch die Bänder *D* um den Punkt drehen, wo sie an den Querstangen *E* befestigt sind. Die erste Querstange *E* eines jeden Flügels ist mit dem Ende einer Zahnstange *N* gelenkartig verbunden, und sämmtliche vier Zahnstangen greifen in ein gemeinschaftliches Getriebe, welches auf dem Kopfe der Flügelwelle angebracht ist. Die Achse dieses Getriebes geht durch die hohle Welle hindurch in das Innere der Mühle hinein, und kann vermittelst einer an ihrem Ende angebrachten Kurbel leicht rund gedreht werden. Indem man die Kurbel und damit zugleich das Getriebe in der einen oder der anderen Richtung dreht, werden die Zahnstangen *N*, *N* . . entweder vor- oder zurückgeschoben; diese wirken dann vermittelst der Querstangen *E*, *E* . .

auf die Bänder D, D . . und die Latten C, C . . , und verursachen dadurch, dass sich letztere wie die Latten einer Jalousie schliessen oder öffnen, also die Stossfläche der Flügel vergrössern oder verkleinern. Durch Drehung der Kurbel lässt es sich machen, dass die Latten sich entweder fest nebeneinander legen, wie in Fig. 353, und dadurch dem Winde die volle Flügelfläche darbieten, oder dass sie sich alle übereinanderschieben und, wie in Fig. 354, die Stossfläche auf die Breite der Ruthen reduciren.

Fig. 354.



Die vorstehenden Windflügel bedürfen nur einer geringen Abänderung in der Construction, wenn sie sich selbst reguliren sollen, d. h. wenn der Wind in dem Maasse, wie seine Geschwindigkeit sich verändert, selbst die Latten mehr oder weniger zustossen oder öffnen soll. Es leiden indessen alle diese und die vorgenannten Flügelräder an dem Uebelstande, dass ihre Flächen der ganzen Ruthe entlang eine und dieselbe Neigung gegen die Windrichtung haben, während wir gesehen haben, dass die äussersten Flügeltheile wegen ihrer grösseren Geschwindigkeit eine andere Neigung gegen die Welle oder die Windrichtung haben müssen, als die inneren. Aus diesem Grunde geben daher auch die Lattenflügel bei gleicher Grösse der Flügelfläche eine kleinere Arbeitsleistung als solche Flügel, die in ihren einzelnen Punkten eine ungleiche Neigung gegen die Welle haben.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass der Gang einer Windmühle am vortheilhaftesten ist, also am meisten Arbeit liefert, wenn die Anzahl der Flügelumdrehungen in der Minute das Doppelte ist von der Anzahl der M e t e r (also nahe das $6\frac{1}{3}$ fache von der Anzahl F u s s), welche der Wind in der Secunde durchläuft.

Durand's Windrad. Setzt man ein gewöhnliches Schaufelrad der allseitigen Einwirkung des Windes aus, so kann es gar keine Drehung annehmen, weil der Wind auf der einen 223

Seite des Rades ebenso stark gegen die Schaufeln drückt, als auf der anderen und daher beide Druckkräfte sich gegenseitig aufheben. Um daher solche Räder zur Aufnahme des Winddruckes geeignet zu machen, muss entweder die Einrichtung getroffen werden, dass ein Theil des Rades von einem festen Mantel umschlossen wird und der Wind nur auf die eine freie Seite des Rades wirken kann, oder dass die Schaufeln beweglich sind und sich um Angeln derartig drehen können, dass sie von selbst auf der einen Radseite dem Windstrome stets ihre Breitseite, auf der anderen Seite dagegen ihre schmale Kante entgegenstellen.

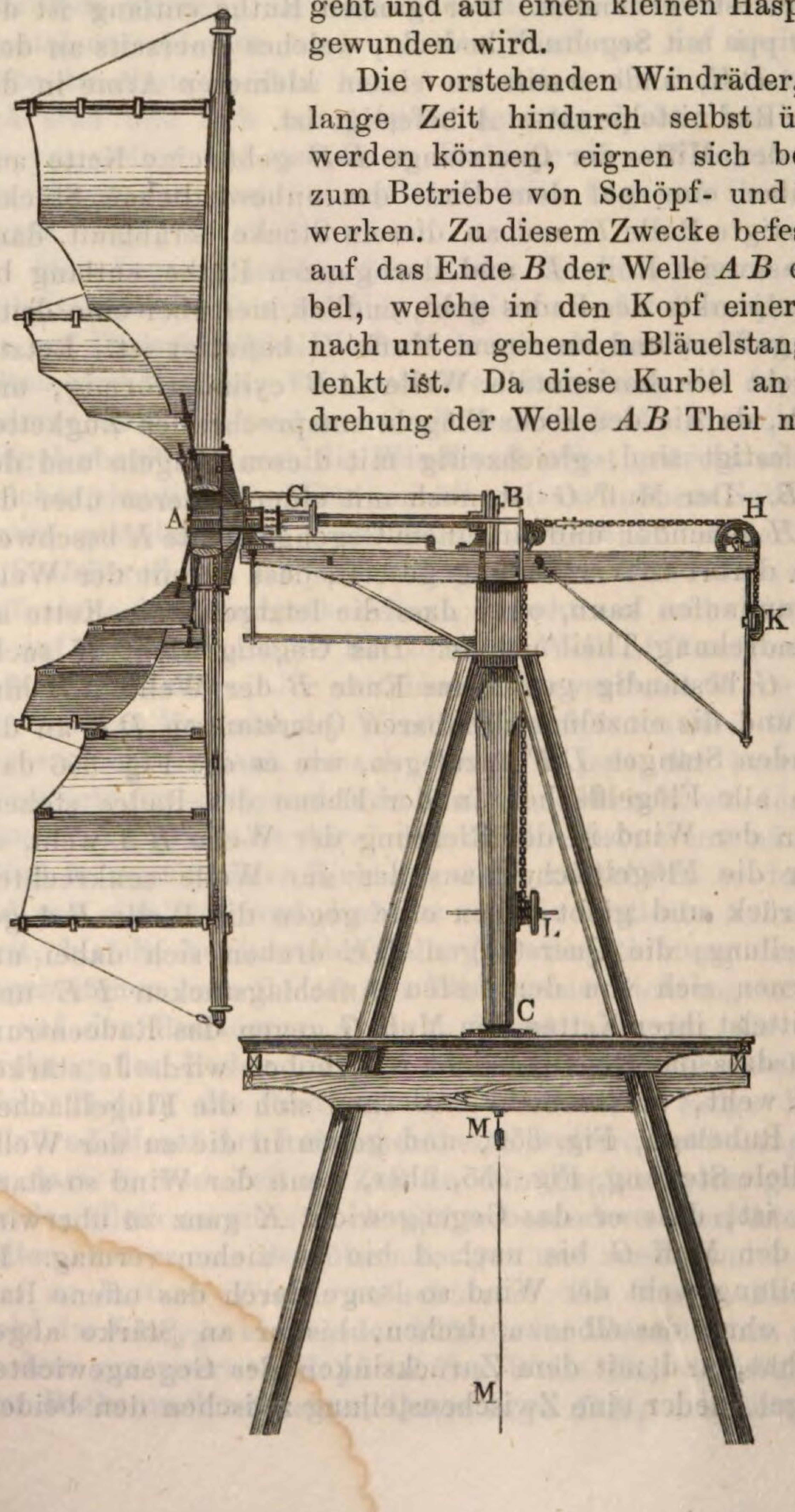
Man begreift leicht, dass Räder dieser Art grosse Schwierigkeiten in der Construction darbieten und daher, da sie ohnehin auf Dauerhaftigkeit keinen Anspruch machen können, nur selten vorkommen. Von grösserer Bedeutung ist dagegen ein anderes von Durand construirtes Windrad, in welchem die Flügel ebenfalls durch die Windkraft selbst gedreht werden und welches ziemlich die Mitte einhält zwischen einem Schaufel- und einem gewöhnlichen Flügelrade; dasselbe ist in der Fig. 355 (a. S. 456) und Fig. 356 (a. S. 457) abgebildet. Das Rad, welches zur Aufnahme des Windruckes dient, besteht aus sechs Flügeln und ist auf den Kopf A einer horizontalen Welle AB aufgesteckt; da sich diese Welle wieder um eine andere verticale Welle BC drehen lässt, so lässt sich das Windrad ebenfalls um diese Welle rund drehen, und es kann sonach leicht in jede der herrschenden Windrichtung entsprechende Stellung gebracht werden. Diese Einstellung geschieht durch den Wind selbst; wenn nämlich der Wind in irgend einer Richtung weht, so schiebt er das Flügelrad vor sich her und dreht es um die verticale Achse BC so weit, bis die horizontale Welle BA die Richtung des Windes angenommen hat. So oft der Wind seine Richtung ändert, übt er auf den Radkörper A einen Druck aus, der die sofortige Drehung des Rades um BC und die richtige Einstellung der Welle BA in die Richtung des Windes zur Folge hat. Ein Windrad dieser Art hat daher keine weitere Bedienung nöthig, als dass es von Zeit zu Zeit in den Zapfenlagern geschmiert werde; allein es muss noch einige besondere Einrichtungen erhalten, um es vor den übermässigen und zerstörenden Wirkungen zu heftiger Winde zu schützen. Zu diesem Zwecke besteht das Gerippe eines jeden Flügels im Wesentlichen aus einer in dem gusseisernen Kopfe A der Welle BA befestigten starken Ruthe und aus einer Querstange DE, welche senkrecht

gegen die Ruthe durch ein Gelenk auf dieser befestigt ist und sich um den Gelenkpunkt D frei nach allen Richtungen um die Ruthe drehen lässt. Neben einer jeden Querstange DE ist dicht bei dem Punkte D eine zweite kürzere Stange DF mit der Ruthe fest verbunden. Der ganzen Ruthe entlang ist das Flügelgerippe mit Segeltuch bedeckt, welches einerseits an dem Querarme DE, andererseits an einem kleineren Arme in der Nähe des Radmittelpunktes A befestigt ist.

Von der Mitte der Querstange DE geht eine Kette aus, welche über eine auf dem Ende des unbeweglichen Stückes DF befestigte Rolle F und an diesem Stücke herabläuft, dann über eine zweite Rolle D und der ganzen Ruthe entlang bis zum Mittelpunkte des Rades geht, endlich hier über eine dritte Leitrolle geführt und an einem Muffe G befestigt ist. Letzterer umgiebt die horizontale Welle AB cylinderförmig, und dreht sich, da die den sechs Flügeln entsprechenden Zugketten daran befestigt sind, gleichzeitig mit diesen Flügeln und der Welle AB. Der Muff G ist noch mit einer anderen über die Leitrolle H gehenden und mit einem Gegengewichte K beschwerten Kette derart in Verbindung gesetzt, dass er mit der Welle AB frei umlaufen kann, ohne dass die letztgenannte Kette an dieser Umdrehung Theil nehme. Das Gegengewicht K sucht den Muff G beständig gegen das Ende B der Welle AB hinzuziehen und die einzelnen drehbaren Querstangen DE an die feststehenden Stangen DF anzulegen, wie es die Fig. 356 darstellt, wo alle Flügelflächen in der Ebene des Rades stehen. Wenn nun der Wind in der Richtung der Welle BA weht, so drängt er die Flügelflächen aus der zur Welle senkrechten Ebene zurück und giebt ihnen eine gegen die Welle BA geneigte Stellung; die Querstangen DE drehen sich dabei um D, entfernen sich von den festen Anschlagstücken FE und ziehen mittelst ihrer Ketten den Muff G gegen das Radcentrum A hin, so dass das Gegengewicht K gehoben wird. Je stärker der Wind weht, um so mehr entfernen sich die Flügelflächen aus ihrer Ruhelage, Fig. 356, und gehen in die zu der Welle BA parallele Stellung, Fig. 355, über, wenn der Wind so stark geworden ist, dass er das Gegengewicht K ganz zu überwinden und den Muff G bis nach A hin zu ziehen vermag. In dieser Stellung weht der Wind so lange durch das offene Rad hindurch, ohne dasselbe zu drehen, bis er an Stärke abgenommen hat, und mit dem Zurücksinken des Gegengewichtes K die Segel wieder eine Zwischenstellung zwischen den beiden

äussersten in den Figuren abgebildeten Lagen annehmen. Will man die Flügel der Wirkung des Gegengewichtes ganz entziehen, so wird letzteres mit Hülfe einer Kette gehoben, welche über eine bei B angebrachte Leitrolle geht und auf einen kleinen Haspel L aufgewunden wird.

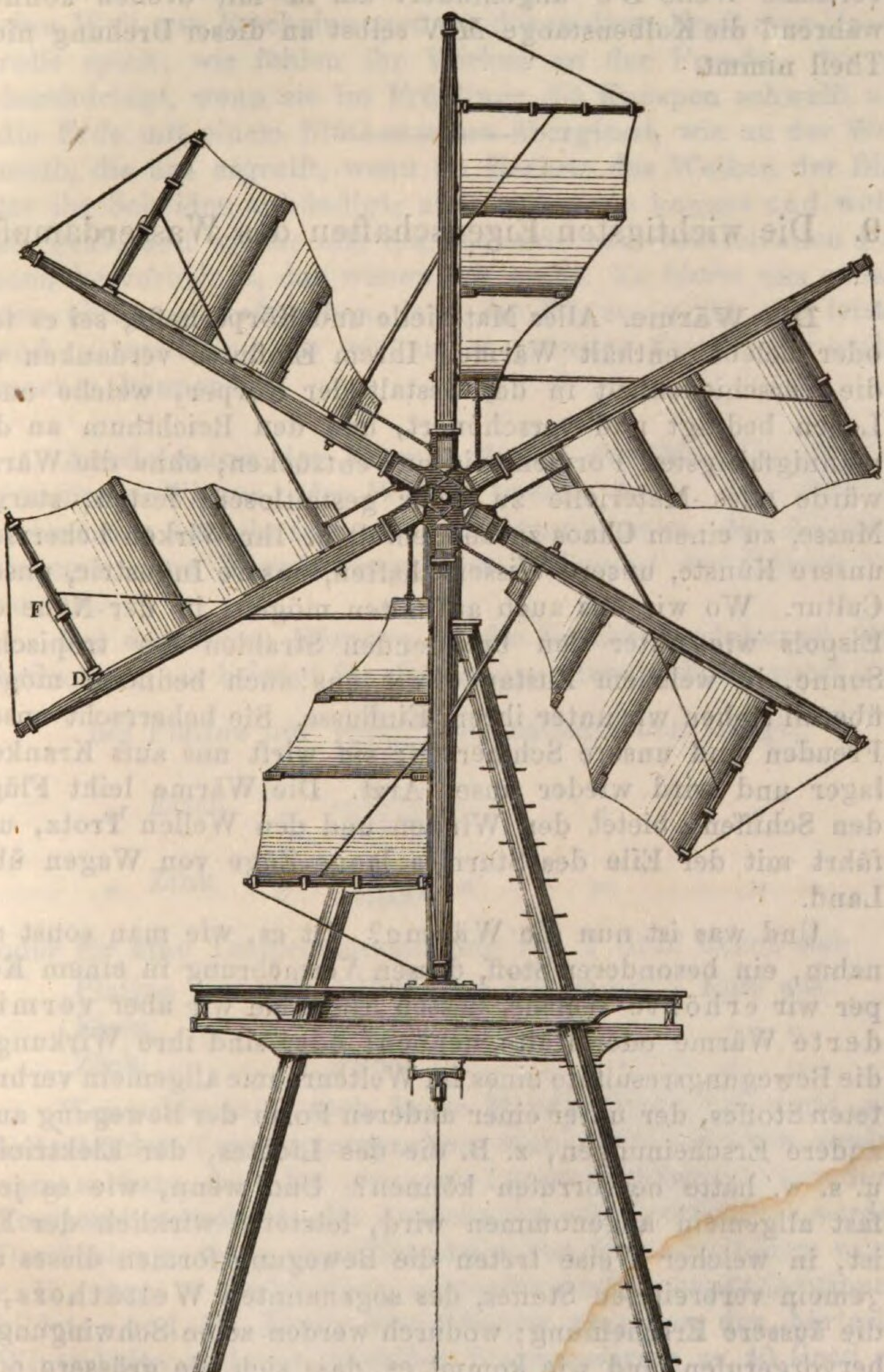
Fig. 355.



Die vorstehenden Windräder, die sich lange Zeit hindurch selbst überlassen werden können, eignen sich besonderes zum Betriebe von Schöpf- und Pumpenwerken. Zu diesem Zwecke befestigt man auf das Ende B der Welle AB eine Kurbel, welche in den Kopf einer vertical nach unten gehenden Bläuelstange eingelenkt ist. Da diese Kurbel an der Umdrehung der Welle AB Theil nimmt, so

versetzt sie den Bläuel in eine auf- und abgehende Bewegung; es ist daher nur noch nöthig, das untere Ende dieses Bläuels

Fig. 356.



mit der Kolbenstange *MN* der Pumpe in Bewegung zu bringen, und zwar in der Art, dass sich alle oberhalb des Punktes *M* befindlichen Theile bei der Drehung des Windrades um die verticale Welle *BC* ungehindert um *M* mit drehen können, während die Kolbenstange *MN* selbst an dieser Drehung nicht Theil nimmt.

9. Die wichtigsten Eigenschaften des Wasserdampfes.

224 **Die Wärme.** Alles Materielle und Körperhafte, sei es todt oder belebt, enthält Wärme. Ihrem Einflusse verdanken wir die Verschiedenheit in der Gestalt der Körper, welche unser Leben bedingt und verschönert, und den Reichthum an den mannigfaltigsten Formen, die uns entzücken; ohne die Wärme würde alles Materielle zu einer gestaltlosen, festen, starren Masse, zu einem Chaos zusammenfallen. Ihr Wirken beherrscht unsere Künste, unsere Wissenschaften, unsere Industrie, unsere Cultur. Wo wir uns auch aufhalten mögen, in der Nähe des Eispols wie unter den brennenden Strahlen der tropischen Sonne, in welchem Zustande wir uns auch befinden mögen, überall stehen wir unter ihrem Einflusse. Sie beherrscht unsere Freuden und unsere Schmerzen; sie wirft uns aufs Krankenlager und wird wieder unser Arzt. Die Wärme leiht Flügel den Schiffen, bietet den Winden und den Wellen Trotz, und führt mit der Eile des Sturmes lange Züge von Wagen über Land.

Und was ist nun die Wärme? Ist es, wie man sonst annahm, ein besonderer Stoff, dessen Vermehrung in einem Körper wir erhöhte Wärme, dessen Abnahme wir aber verminderte Wärme oder Kälte nennen; oder sind ihre Wirkungen die Bewegungsresultate eines im Weltenraume allgemein verbreiteten Stoffes, der unter einer anderen Form der Bewegung auch andere Erscheinungen, z. B. die des Lichtes, der Elektricität u. s. w. hätte hervorrufen können? Und wenn, wie es jetzt fast allgemein angenommen wird, letzteres wirklich der Fall ist, in welcher Weise treten die Bewegungsformen dieses allgemein verbreiteten Stoffes, des sogenannten Weltäthers, in die äussere Erscheinung; wodurch werden seine Schwingungen hervorgerufen, und wie kommt es, dass sich die grössere oder

geringere Geschwindigkeit derselben auf unser Gefühl und auf Alles, was uns umgiebt, in Form von höheren oder geringeren Graden der Wärme, als Wärme und Kälte zu erkennen giebt? Wir wissen es nicht. Wir sehen zwar in unserer Umgebung eine Welt von Erscheinungen, in denen diese Kraft eine Hauptrolle spielt; wir fühlen ihr Wirken an der Freude, die uns durchdringt, wenn sie im Frühlinge die Knospen schwellt und die Erde mit einem Blüthenmeere übergiesst, wie an der Wehmuth, die uns ergreift, wenn im Herbste das Welken der Blätter ihr Scheiden ankündigt; aber woher sie kommt und wohin sie geht, und wie sie alle die Tausende von wechselvollen Formen hervorbringt, das wissen wir nicht. Es bleibt uns sonach nur übrig, zu erforschen, was die Wärme wirkt und leistet, und zu ermitteln, wie wir sie zu unseren Zwecken dienstbar machen können.

Ausdehnung der Körper durch die Wärme. Die allgemeinste Wirkung der Wärme besteht darin, dass ihre Zu- 225
nahme eine Ausdehnung oder eine Vergrösserung, ihre Abnahme dagegen eine Verminderung des Volumens der Körper hervorruft.

Bei den festen Körpern ist die lineare Ausdehnung nicht bedeutend; sie beträgt für eine Temperaturerhöhung von 1 Grad

bei Platina nur $\frac{1}{116700}$ der anfänglichen Länge,
" Eisen " $\frac{1}{90100}$ " " "
" Zink " $\frac{1}{34000}$ " " " .

oder für eine Temperaturzunahme von 1 Grad dehnt sich

Platina	erst	auf	116700	Fuss	Länge	um	1	Fuss aus,
Eisen	"	"	90100	"	"	"	1	" "
Zink	"	"	34000	"	"	"	1	" "

Wenn hiernach auch kurze Metallstangen bei nicht sehr bedeutender Temperaturzunahme sich nicht merklich ausdehnen, so kann doch bei grösserer Länge und bei bedeutenderen Temperaturzunahmen die Ausdehnung sehr beträchtlich werden. Der Schienenstrang einer Eisenbahn von 40 Meilen Länge würde z. B., wenn er ein einziges, nirgend unterbrochenes Continuum bildete, und die Temperaturdifferenz zwischen der härtesten Winterkälte und der höchsten Sommerwärme zu 40 Grad an-

genommen wird, durch diesen Temperaturwechsel eine Längenzunahme von mehr als 400 Fuss erfahren. Es erklärt sich hieraus, warum zwischen den aufeinander folgenden Schienen ein kleiner Spielraum gelassen wird, warum das Mauerwerk, welches die Dampfkessel, Siedepfannen u. s. w. umschliesst, nicht genau an diese Theile anschliessen darf und warum bei längeren eisernen Wasserleitungen oder bei Röhren der Dampfheizung sogenannte Ausgleichungsstellen angebracht werden müssen, bei denen sich die Röhrentheile fernrohrartig in einander verschieben können.

Die Ausdehnung der Flüssigkeiten durch die Wärme ist bedeutend grösser, als die der festen Körper und ist ebenfalls bei den verschiedenen Flüssigkeiten sehr ungleich. Die Zunahme des Volumens beträgt z. B. bei der Erhöhung der Temperatur um 1 Grad

beim Quecksilber $\frac{1}{5500}$ des anfänglichen Volumens,
„ Wasser $\frac{1}{2200}$ „ „ „
„ Oel $\frac{1}{1200}$ „ „ „
„ Weingeist $\frac{1}{900}$ „ „ „

oder wenn die Temperatur um 1 Grad zunimmt,
werden aus 1200 Quart Oel . . . 1201 Quart,
„ „ 900 „ Weingeist . . . 901 „ u. s. w.

Wir haben jedoch bereits früher (§. 53) gesehen, dass das Wasser von dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung durch die Wärme eine Ausnahme macht. Bei abnehmender Wärme zieht es sich nur bis zu 4,1 Grad des 100theiligen Thermometers zusammen; erkaltet es sich noch mehr, so dehnt es sich wieder aus und wird also auch weniger dicht, als es bei 4,1^0 C. war. Das Wasser hat daher bei 4,1^0 C. seine grösste Dichtigkeit.

Noch grösser ist die Ausdehnung der Luft und der anderen Gase durch die Wärme. Nach den neueren Untersuchungen sind die Ausdehnungscoefficienten für die einzelnen Gase nur wenig verschieden von dem der atmosphärischen Luft, so dass man, ohne einen erheblichen Fehler zu machen, letzteren auch für die übrigen Luftarten kann gelten lassen. Die völlig trockene atmosphärische Luft dehnt sich bei einer Temperaturzunahme von 1^0 C. um 0,00366, also bei einer Temperaturzu-

nahme von 100⁰ C. um 0,366 oder nahe $^{11}/_{30}$ ihres ursprünglichen Volumens aus. Wenn es sich nicht um sehr genaue Resultate handelt, kann man statt dieser Verhältnisszahl auch $^{10}/_{30}$ oder $^{1}/_{3}$ nehmen, eine Zahl, welche für alle Gase annähernd richtig angiebt, um den wievielten Theil des ursprünglichen Volumens sich dieselben ausdehnen, wenn die Temperatur um 100^0 C. erhöht wird.

Die Veränderung des Aggregatzustandes durch die Wärme. Latente Wärme. Bei weitem wichtiger, als die durch die Wärme erzeugte Veränderung des Volumens, sind die Erscheinungen, welche die Wärme hervorruft, indem sie die Zustände oder die Aggregatformen (I. §. 7) der Körper verändert. Durch die Erhöhung der Temperatur werden die festen Körper flüssig, die flüssigen luftförmig; der Uebergang aus dem festen Zustande in den flüssigen geschieht durch Auflösung und Schmelzen, der Uebergang aus dem flüssigen Zustande in den luftförmigen geschieht durch Verdunsten und Sieden. Die Auflösung und die Verdunstung eines Körpers erfolgt im Allgemeinen unter allen Temperaturen, das Schmelzen und das Sieden dagegen stets bei einer unveränderlichen Temperatur. Während der ganzen Dauer des Schmelzens und des Siedens nimmt der Körper, wenn man ihm auch noch so viel Wärme von aussen zuführt, doch keine höhere Temperatur an; eine Vermehrung des Wärmezuflusses kann wohl eine Beschleunigung in dem Acte des Schmelzens und des Siedens, nicht aber eine Erhöhung der Temperatur herbeiführen. Die Wärme, welche einem schmelzenden oder einem siedenden Körper zugeführt wird und die Temperatur desselben doch nicht zu erhöhen vermag, geht indessen nicht verloren; sie ist zur Constituirung des flüssigen oder des luftförmigen Zustandes unerlässlich; sie geht beim Schmelzen in den festen Körper über, stellt damit den flüssigen Körper dar, und dringt beim Sieden in den flüssigen Körper, um damit den luftförmigen Körper constituiren zu können. Der deutlichste Beweis, dass diese Wärme nicht verloren geht, wenn sie auch für das Thermometer und das Gefühl verschwunden zu sein scheint, ist der, dass man sie jeden Augenblick wieder gewinnen kann; es ist dazu nur erforderlich, den flüssigen Körper wieder fest, oder den luftförmigen wieder flüssig zu machen. Man nennt die Wärme, welche in einem Körper enthalten ist, ohne durch das Thermometer angezeigt zu werden, gebundene oder latente Wärme. 226

Wir beschäftigen uns in dem Folgenden zunächst mit den Bedingungen, unter denen das Wasser in den luftförmigen Zustand übergeht, sowie mit den Eigenschaften und der Anwendung des Wasserdampfes, und werden dann später auf die Anwendung anderer Dämpfe, der erhitzten Luft und des Leuchtgases übergehen.

227 **Die Spannung des Wasserdampfes.** Wenn ein rings geschlossenes Gefäss zum Theil mit Wasser angefüllt ist, so verwandelt sich ein Theil des Wassers in Dampf, wie hoch oder wie niedrig auch die Temperatur des Wassers sein mag. Der Dampf erfüllt alsdann den Raum des Gefässes, der nicht mit Wasser angefüllt ist, vollständig, mag derselbe vorher Luft oder irgend ein anderes Gas enthalten haben, oder luftleer gewesen sein. In dem Maasse, als der Dampf sich bildet und sich in dem Raume über dem Wasser ansammelt, wird er immer dichter und erlangt eine immer grösser werdende Spannung; letztere kann jedoch eine gewisse Gränze, die ausschliesslich von der Temperatur des Wassers abhängt, nicht überschreiten. Hat der Dampf diese Gränze und damit das Maximum der Spannung, die er bei der vorhandenen Temperatur überhaupt annehmen kann, erreicht, so bildet sich kein neuer Dampf mehr; man sagt dann von dem Raume, in welchem sich der Dampf befindet, er sei mit Dampf gesättigt. Die Gegenwart von Luft in dem Raume, in welchem die Dampfbildung vor sich geht, hat auf dieses Maximum der Spannung nicht den geringsten Einfluss; dieselbe verzögert nur die Verdampfung und ist ein Hinderniss, dass das Maximum der Spannung nicht momentan eintritt. Während nämlich in dem luftleeren Raume die Dampfbildung ungemein schnell vor sich geht und der Dampf fast augenblicklich das Maximum seiner Spannung erlangt, bildet sich der Dampf in einem lufterfüllten Raume nur nach und nach, und muss sich, um den Raum auszufüllen, zwischen die einzelnen Lufttheilchen verbreiten. In dem letzteren Falle ist die Spannung des über dem Wasser befindlichen Gasgemenges stets gleich der Summe der Spannkräfte der Luft und des darin enthaltenen Wasserdampfes.

Wenn das Gefäss, welches das Wasser enthält, offen ist und mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht, so verdunstet das Wasser ebenfalls; da jedoch der gebildete Dampf sofort entweicht, so kann er das Maximum der Spannung, welche der herrschenden Temperatur entspricht, nicht erreichen und

die Dampfbildung geht ununterbrochen so lange fort, bis alles Wasser sich in Dampf verwandelt hat. Je höher die Temperatur des verdampfenden Wassers ist, desto grösser ist die Spannung des Dampfes oder der Druck, den er ausüben kann; ebenso steigt die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbildung in der freien Luft vor sich geht, mit der Temperatur. Wenn die Temperatur des Wassers so hoch ist, dass das Maximum der Spannkraft des Dampfes gleich ist dem Drucke der atmosphärischen Luft, so geht die Dampfbildung sehr rasch von Statten. In diesem Falle braucht der Dampf sich nicht erst allmälig zwischen den einzelnen Lufttheilchen zu verbreiten, sondern er hat die Kraft, den Luftdruck zu überwinden und die Luft vor sich herzutreiben. Die Dampfbildung erfolgt nun stürmisch in der ganzen Flüssigkeitsmasse unter heftigem Aufwallen und Blasenwerfen in der bekannten Weise, die wir Sieden nennen. Hiernach wird das Wasser, wie jede andere Flüssigkeit, sieden, sobald das der Temperatur des Wassers entsprechende Maximum der Dampfspannung mindestens ebenso gross ist, als der Druck, der auf der Flüssigkeitsoberfläche lastet, sei es dass dieser Druck durch die atmosphärische Luft, oder durch andere Gase, oder durch Dämpfe oder sonst auf irgend eine andere Weise hervorgebracht wird. Je kleiner der Druck auf die Wasseroberfläche ist, desto eher siedet das Wasser, und der Siedepunkt einer Flüssigkeit liegt um so höher, je stärker der Druck ist, der auf ihre Oberfläche wirkt.

Wenn sich in einem geschlossenen, von Wasser freiem 228
Raume Dampf befindet und seine Spannung kleiner ist, als die seiner Temperatur entsprechende Maximalspannung, so verhält sich dieser Dampf, so lange seine Temperatur dieselbe bleibt, genau wie ein Gas. Vergrössert man sein Volumen, so nimmt nach dem Mariotte'schen Gesetze (§. 43) die Spannung in demselben Grade ab, als das Volumen zu-, oder die Dichtigkeit abnimmt, und umgekehrt. Dieses gilt jedoch nur so lange, als der den Dampf enthaltende Raum nicht gesättigt ist. Ist man jedoch durch fortgesetzte Verkleinerung des Dampfvolumens bei dieser Gränze der Dichtigkeit angekommen, und hat in Folge hiervon der Dampf das Maximum der Spannung erreicht, welches seiner Temperatur entspricht, so lässt sich durch eine fernere Comprimirung oder durch eine Verkleinerung des Volumens die Spannung des Dampfes nicht mehr vergrössern; es verdichtet sich vielmehr ein Theil desselben zu Wasser, wäh-

rend der zurückbleibende Theil das der Temperatur entsprechende Maximum der Spannung unverändert beibehält. Vergrössert man nun wieder das Volumen des Dampfes, so verwandelt sich das so eben durch Condensation entstandene Wasser wieder in Dampf, ohne die Spannung zu erhöhen, und es bildet sich bei fortgesetzter Volumenvergrösserung desselben so lange neuer Dampf von derselben Spannung, bis alles Wasser sich in Dampf verwandelt hat. Wenn man von diesem Punkte an noch weiter fortfährt, das Volumen zu vergrössern, so folgt der Dampf, so lange seine Temperatur unverändert bleibt, wieder dem Mariotte'schen Gesetze und erhält eine um so geringere Spannung, je mehr das Volumen vergrössert worden ist.

Wenn bei der Aenderung des Dampfvolumens die Temperatur des vom Wasser abgeschlossenen Dampfes nicht unverändert bleibt, so kann derselbe dem Mariotte'schen Gesetze nicht folgen; bleibt das Volumen des Dampfes unverändert dasselbe, so wächst, wie schon gesagt wurde, so lange Wasser vorhanden ist, mit zunehmender Temperatur auch die Dichtigkeit und die Spannung des über dem Wasser befindlichen Dampfes. Ist alles Wasser verdampft, so nimmt mit der Temperaturerhöhung zwar die Spannung des Dampfes zu, nicht aber die Dichtigkeit desselben, weil ja dann die gleiche Dampfmenge stets einen gleichen Raum einnimmt. Wird umgekehrt die Temperatur vermindert, so nimmt auch die Spannung des Dampfes ab; derselbe fängt an sich zu condensiren und verliert immer mehr an Dichtigkeit. Man sieht hieraus, dass die Eigenschaften des Dampfes, welcher mit Wasser in Berührung ist, verschieden sind von denjenigen, welche der Dampf hat, wenn er vom Wasser getrennt für sich einen abgeschlossenen Raum einnimmt.

229 **Grösse der Spannung des Wasserdampfes.** Man hat vielfache Versuche angestellt, um das Maximum der Spannung zu bestimmen, welche der Wasserdampf bei den verschiedenen Temperaturen annehmen kann. Die folgende Tabelle enthält einen Auszug aus den von Regnault zusammengestellten Resultaten; sie giebt das Maximum der Dampfspannungen von 10 zu 10 Grad für die Temperaturen von 0° bis 210° C. Die Spannung ist, wie es gewöhnlich zu geschehen pflegt, durch die Höhe der Quecksilbersäule ausgedrückt (§. 39), welche dem Dampfdrucke das Gleichgewicht zu halten vermag.

Temperatur nach Celsius.	Spannung des Dampfes in Zollen Quecksilber.	Temperatur nach Celsius.	Spannung des Dampfes in Zollen Quecksilber.
0°	0,176	110°	41,115
10	0,350	120	57,017
20	0,665	130	77,627
30	1,206	140	103,910
40	2,099	150	136,930
50	3,517	160	177,850
60	5,689	170	227,940
70	8,912	180	288,530
80	13,558	190	361,040
90	20,088	200	446,910
100	29,058	210	547,516

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass das Maximum der Spannung des Wasserdampfes mit der Temperatur wächst und zwar um so stärker, je höher die Temperatur wird. Auch ersieht man daraus, da 29,058 preussische Zoll sehr nahe gleich 28 pariser Zoll sind, dass die Spannung des Dampfes von 100° gleich ist dem normalen Druck der atmosphärischen Luft (§. 39); es stimmt dieses Resultat mit dem überein, was wir bereits in §. 227 gesagt haben, da bei der Temperatur von 100° unter einem Luftdruck von 28 pariser Zoll das Wasser siedet und demnach, wie immer, die Spannung des Dampfes gleich sein muss dem Drucke, der auf der Oberfläche des Wassers lastet.

In §. 39 ist bereits gesagt worden, dass man den normalen, einer Quecksilbersäule von 28 pariser Zoll entsprechenden Luftdruck eine Atmosphäre nennt. Da man bei den Dampfmaschinen diesen Druck als Maass für den in dem Dampfkessel vorhandenen Druck anzunehmen pflegt, so muss man noch den Zusammenhang kennen, in welchem die Temperatur des Dampfes mit der in Atmosphären ausgedrückten Span-

nung steht. Die folgende Tabelle enthält diesen Zusammenhang für die Spannungen von 1 bis 28 Atmosphären nach den hierüber angestellten Untersuchungen von Regnault.

Spannung des Dampfes.	Temperatur nach Celsius.	Spannung des Dampfes.	Temperatur nach Celsius.
Atmosphären	Grad	Atmosphären	Grad
1	100,0	15	198,8
2	120,6	16	201,9
3	133,9	17	204,9
4	144,0	18	207,7
5	152,2	19	210,4
6	159,2	20	213,0
7	165,3	21	215,5
8	170,8	22	217,9
9	175,8	23	220,3
10	180,3	24	222,5
11	184,5	25	224,7
12	188,4	26	226,8
13	192,1	27	228,9
14	195,5	28	230,9

In der Praxis wird der Druck des Dampfes häufig in Pfunden auf den Quadratzoll angegeben; die folgende Tabelle enthält diese Angaben nebst den dem Dampfdruck entsprechenden Temperaturen des hunderttheiligen Thermometers.

Druck in Atmosphären.	Druck in Pfunden auf 1 □Zoll rhn.	Temperatur nach Celsius nahe
1	14	100°
1¼	17,5	106
1½	21	112
2	28	120
2½	35	128
3	42	134
3½	49	139
4	56	144
4½	63	148
5	70	152
5½	77	155
6	84	159
6½	91	163
7	98	165
7½	105	168
8	112	171

Calorie oder Wärmeeinheit. Latente Wärme. Wir 230
haben bereits gesehen, dass eine beträchtliche Wärme erforderlich ist, um eine gewisse Quantität Wasser von 100° C. in Dampf von 100° C. zu verwandeln, dass diese Wärme in das Wasser geht, um damit den luftförmigen Zustand zu constituiren und in diesem gebundenen oder latenten Zustande durch das Thermometer nicht mehr wahrgenommen werden kann. Ueberhaupt aber kann das Thermometer nur dazu dienen, die Wirkung der Wärme nach aussen, die Temperatur eines Körpers, anzuzeigen, nicht aber die wirkliche Wärmequantität desselben zu messen. Das Thermometer zeigt in einem Wasserbehälter von vielen Kubikfuss Inhalt dieselbe Angabe wie in dem kleinsten Theile des Wassers, das man daraus geschöpft haben mag, und doch ist leicht einzusehen, dass

die in dem gesammten Wasser enthaltene Wärmequantität weit grösser ist, als die eines Theiles desselben. Will man also Angaben über die in einem Körper enthaltene Wärmemenge machen, so bedarf es hierzu eines anderen Maasses, als des Thermometers.

Man nennt nun diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um ein Pfund Wasser um einen Temperaturgrad zu erhöhen, eine Wärmeeinheit oder Calorie, und nimmt diese als das Maass bei allen auf die Angabe von Wärmemengen Bezug habenden Messungen. Hiernach sagt man, dass, um die Temperatur von 10 Pfund Wasser auf 6° C. zu erhöhen, 60 Calorien erforderlich sind, so wie man umgekehrt mit 60 Calorien 10 Pfund Wasser auf 6° C., 6 Pfund auf 10° C., 12 Pfund auf 5° C., 1 Pfund auf 60° C., 60 Pfund auf 1° C. u. s. w. erhöhen kann; ebenso ist klar, dass 100 Calorien erforderlich sind, um 1 Pfund Wasser von 0° C. auf 100° C. zu erwärmen oder dasselbe zum Sieden zu bringen. Man bezeichnet eine Wärmeeinheit oder Calorie gewöhnlich mit W.

Wendet man zur Erhitzung des Wassers eine Wärmequelle, z. B. eine ruhig brennende Gasflamme, an, welche dem Wasser in gleichen Zeiten genau gleich viel Wärme mittheilt, so findet man, dass nahe $5\frac{1}{2}$ mal so viel Zeit erforderlich ist, um ein Pfund siedenden Wassers (von 100° C.) ganz in Dampf von 100° C. zu verwandeln, als um dieselbe Wassermenge vom Gefrierpunkte (0° C.) bis zum Siedepunkte (100° C.) zu erwärmen. Da nun im letzteren Falle dem Wasser 100 W. zugeführt werden, so muss ein Pfund siedendes Wasser von 100° C. noch weitere $5\frac{1}{2} \times 100 = 550$ W. aufnehmen, um sich ganz in Dampf verwandeln zu können. Die Temperatur des Dampfes ist indessen durch diese Wärme nicht gestiegen, sie beträgt immer noch 100° C. Es folgt also hieraus, dass 550 W. gebunden oder latent werden, wenn 1 Pfund Wasser von 100° C. in Dampf von 100° C. verwandelt wird.

Wenn der Dampf wieder zu Wasser condensirt wird, so wird die gebundene Wärme wieder frei. So oft daher 1 Pfund Wasserdampf von 100° C. condensirt wird, werden 550 W., also so viel Wärme frei, dass man damit die Temperatur von 550 Pfund Wasser um 1° C. oder von $5\frac{1}{2}$ Pfund Wasser um 100° C. erhöhen, also $5\frac{1}{2}$ Pfund Wasser von 0° C. zum Sieden bringen kann. Es ist klar, dass man diese bei der Condensation der Wasserdämpfe frei werdende Wärme dazu benutzen kann, um sowohl grössere Arbeitsräume, Treib-

häuser u. s. w., als auch insbesondere das zur Speisung der Dampfkessel erforderliche Wasser zu erwärmen, so wie bei Destillationen und anderen technologischen Processen Flüssigkeiten zu erhitzen.

Aus dem eben Gesagten ergiebt sich zugleich die wichtige Thatsache, dass man nahe $6^1/_2$ mal so viel Brennmaterial gebraucht, um Wasser von 0° C. in Dampf von 100° C. zu verwandeln, als um die gleiche Menge Wasser von 0° C. zum Sieden zu bringen. Hat das Wasser etwa eine Temperatur von 14° C., so braucht man, um es zum Sieden zu bringen, noch 100 — 14 = 86 Calorien pro Pfund; um es dagegen ganz in Dampf von 100° C. zu verwandeln, braucht man noch weitere 550 Calorien pro Pfund, überhaupt also 636 Calorien pro Pfund, oder $^{636}/_{86}$, d. i. nahe $7^2/_5$ mal so viel Wärme, als um es zum Sieden zu bringen,

Die vorstehenden Angaben beziehen sich darauf, dass das Wasser unter dem gewöhnlichen Luftdruck oder bei einer Temperatur von 100° C. verdampft. Nach den Untersuchungen Regnault's ist jedoch die gebundene Wärme für die einzelnen Temperaturen, bei denen die Dampfbildung erfolgt, nicht dieselbe; wir geben daher in der folgenden Tabelle noch die Wärmemengen oder Calorien, welche erforderlich sind, um bei den verschiedenen Temperaturen ein Pfund Wasser in Dampf zu verwandeln. Die erste Spalte enthält die Temperatur des gesättigten Dampfes, die zweite die latente Wärme desselben in Calorien, die dritte giebt die Anzahl der Calorien an, welche erforderlich sind, um 1 Pfund Wasser von 0° C. in gesättigten Dampf von der in der ersten Spalte stehenden Temperatur zu verwandeln.

Temperatur des gesättigten Dampfes.	Latente Wärme. W.	Gesammtwärme. W.	Temperatur des gesättigten Dampfes.	Latente Wärme. W.	Gesammtwärme. W.
0°	606,5	606,5	120°	522,3	643,1
20	592,6	612,6	140	508,0	649,2
40	578,7	618,8	160	493,6	655,3
60	564,7	624,8	180	479,0	661,4
80	550,6	630,9	200	464,3	667,5
100	536,5	637,0	220	449,4	673,6

Aus dieser Tabelle ersieht man, dass die gebundene Wärme, welche in 1 Pfund Wasserdampf von 100° C. enthalten ist, nach der Untersuchung von **Regnault** etwas kleiner ist, als sie vorhin angenommen wurde; es geht aber, was weit wichtiger ist, ausserdem daraus hervor, dass fast dieselbe Wärmemenge nöthig ist, um 1 Pfund Wasser von 0° C. in Dampf von 100° C. oder von 200° C. zu verwandeln; die Differenz beträgt in der That nur 667,5 — 637,0 = 30,5 W. Nun aber hat der Dampf von 100° C. nur die Spannung von 1 Atmosphäre, dagegen der Dampf von 200° C. die Spannung von 16 Atmosphären (S. 466); man kann also fast mit demselben Brennmaterial das Wasser von 0° C. in Dampf von sehr niedriger oder auch von sehr hoher Spannung verwandeln, und es ist in Bezug auf den Verbrauch an Brennmaterial fast ganz einerlei, ob man das Wasser in Dampf von niedrigem oder von hohem Druck verwandelt.

231 **Das specifische Dampfvolumen.** Verwandelt man unter dem gewöhnlichen Luftdruck, also bei der Temperatur von 100° C. das Wasser in Dampf, so nimmt der Dampf erfahrungsmässig ein 1700mal so grosses Volumen ein, als das Wasser, aus welchem er sich gebildet hat; aus 1 Kubikzoll Wasser entstehen also durch die Verdampfung bei 100° C. 1700 Kubikzoll Wasserdampf. Könnte man diesen Dampf unter den doppelten Druck von 2 Atmosphären bringen, ohne seine Temperatur zu ändern, so würde er nach dem **Mariotte**'schen Gesetze nur die Hälfte des früheren Volumens, also ein Volumen von 850 Kubikzoll einnehmen; allein der gesättigte Wasserdampf von 2 Atmosphären kann nur bei einer Temperatur von 120,6° C. bestehen und ist also um 20,6° wärmer, als der Dampf von 100° C. In Folge dieser Temperaturdifferenz ist das Volumen des Dampfes von 2 Atmosphären offenbar grösser, als es sein würde, wenn die Temperaturdifferenz nicht bestände. Die Erfahrung zeigt auch, dass sich aus 1 Kubikzoll Wasser bei der Verdampfung nicht 850, sondern nahe 900 Kubikzoll Wasserdampf von 2 Atmosphären bilden.

Man nennt nun die Zahl, welche anzeigt, wie viel mal so gross das Volumen des Dampfes ist, als dasjenige des Wassers, aus welchem er sich gebildet hat, das **specifische Dampfvolumen**. Die folgende Tabelle giebt die den einzelnen Dampfspannungen entsprechenden specifischen Dampfvolumina nebst den zugehörigen Temperaturen.

Spannung des Dampfes.	Temperatur nach Celsius nahe.	Specifisches Dampfvolumen.
Atmosphären	Grad	
1/8	50	11800
1/4	65	6198
1/2	82	3229
1	100	1700
1 1/4	106	1384
1 1/2	112	1190
1 3/4	117	1020
2	121	900
2 1/2	128	733
3	134	620
3 1/2	139	535
4	144	477
5	152	388
6	159	326
7	165	282
8	171	248
9	177	221
10	181	200

Man sieht aus dieser Tabelle, dass das Volumen des aus einem bestimmten Volumen Wasser sich bildenden gesättigten Dampfes mit der Temperatur und dem Druck, unter dem er sich bildet, rasch abnimmt, die Dichtigkeit des Dampfes also schnell zunimmt. Auch giebt sie ein Mittel an die Hand, um die Quantität des Wassers zu berechnen, welches in einer bestimmten Zeit verdampft werden muss, damit in dieser Zeit eine gegebene Menge Dampf von bestimmter Spannung erzeugt werde. Denn nehmen wir an, dass zum Betriebe einer Dampfmaschine der Dampfkessel in der Minute 480 Kubikfuss Dampf von 5 Atmosphären Spannung liefern muss, so zeigt

die Tabelle, dass dazu in derselben Zeit $\frac{480}{388} = 1{,}23$ Kubikfuss Wasser erforderlich sind.

232 **Vergleich zwischen dem niedrig und hoch gespannten Dampf.** Es ist in §. 230 nachgewiesen worden, dass man mit demselben Brennmaterial eine bestimmte Quantität Wasser in Dampf von niedriger oder von hoher Spannung verwandeln kann, und es sind beispielsweise annähernd 650 Wärmeeinheiten nöthig, um 1 Pfund Wasser von 0° C. in Dampf von 1 Atmosphäre oder in Dampf von 16 Atmosphären Spannung zu verwandeln. Auf den ersten Blick könnte es nun scheinen, dass man in allen Fällen äusserst vortheilhaft verfahren würde, wenn man das Wasser in hoch gespannten Dampf verwandelt, da ja Dampf von 16 Atmosphären Spannung einen 16 mal so grossen Druck zu überwinden, und daher auch 16 mal so viel zu leisten vermag, als Dampf von 1 Atmosphäre Spannung. Die Sache verhält sich jedoch nicht ganz so; man darf nämlich nicht übersehen, dass der Dampf, den man aus einer bestimmten Quantität Wasser bildet, bei den verschiedenen Temperaturen oder Spannungen, unter denen die Verdampfung vor sich geht, ein sehr ungleiches Volumen einnimmt (§. 231). Während nämlich der aus einem Kubikzoll Wasser entstehende Dampf von 1 Atmosphäre Spannung ein Volumen von 1700 Kubikzoll einnimmt, so erhält man aus demselben Kubikzoll Wasser unter dem Druck von 2 Atmosphären nur 900 Kubikzoll, bei 3 Atmosphären nur 620, bei 4 Atmosphären nur 477 Kubikzoll Dampf.

Ständen nun die specifischen Dampfvolumina genau im umgekehrten Verhältnisse zu den Dampfspannungen, und wären bei der Spannung des Dampfes von 1, 2, 3, 4 ... Atmosphären die aus demselben Wasser entstehenden Dampfvolumina beziehlich 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... oder, was auf dasselbe hinauskommt, 1700, 850, $566\frac{2}{3}$, 425 ..., so würde es in Bezug auf die Leistungsfähigkeit des Dampfes offenbar einerlei sein, ob man mit einer gegebenen Quantität des Brennmaterials Dampf von 1, 2, 3 oder von 4 ... Atmosphären Druck erzeugte. Die Tabelle des §. 231 zeigt aber, dass die specifischen Dampfvolumina nicht im umgekehrten Verhältnisse zu den Dampfspannungen stehen; bei den Spannungen von 1, 2, 3, 4 ... Atmosphären entstehen aus derselben Quantität Wasser die Dampfvolumina 1700, 900, 620, 477 ... Hieraus ist klar, dass es in Bezug auf

die Leistungsfähigkeit des Dampfes etwas vortheilhafter ist, das Wasser in Dampf von hoher, als von niedriger Spannung zu verwandeln, dass aber der Gewinn keineswegs im Verhältnisse zu der Dampfspannung selbst steht.

Der mechanische Effect des Wasserdampfes. Denkt 233
man sich in einem sehr langen verticalen Rohre von 1 Quadratzoll Querschnitt eine Quantität von 1 Kubikzoll Wasser eingeschlossen und auf die Oberfläche desselben einen dicht an die Röhrenwand anschliessenden Kolben aufgesetzt, so drückt die atmosphärische Luft von aussen mit der Kraft einer Atmosphäre oder mit 14 Pfund auf denselben. Verwandelt man nun dieses Wasser in Dampf, welches unter dem angenommenen Druck bei einer Temperatur von 100^0 C. vor sich geht, so beträgt das Dampfvolumen, wenn alles Wasser in Dampf verwandelt worden ist, nach dem Vorigen 1700 Kubikzoll, so dass der mit 14 Pfund belastete Kolben einen Weg von 1700 Zoll durchläuft. Die mechanische Arbeit eines unter diesen Umständen verdampften Kubikzolls Wasser besteht also darin, dass 14 Pfund 1700 Zoll oder nahe 142 Fuss hoch gehoben werden, und beträgt daher $14 \times 142 = 1988$ Fusspfund. Wiederholt man den Versuch von Neuem, jedoch so, dass der Kolben vor der Verdampfung des Wassers noch mit 14 Pfund belastet wird und daher der sich bildende Dampf unter dem Drucke von 2 Atmosphären steht, so nimmt nach der Verdampfung der Dampf nur ein Volumen von 900 Kubikzoll ein; der Kolben wird also 900 Zoll oder 75 Fuss hoch gehoben. Die mechanische Arbeit eines unter dem Druck von 2 Atmosphären verdampften Kubikzolls Wasser besteht also darin, dass $2 \times 14 = 28$ Pfund 75 Fuss hoch gehoben werden, und beträgt daher $28 \times 75 = 2100$ Fusspfund. Verdampft in gleicher Weise 1 Kubikzoll Wasser unter einem Druck von 3 Atmosphären oder von 42 Pfund auf den Quadratzoll, so steigt der Kolben nach dem vorigen Paragraphen nur 620 Zoll oder $51\frac{2}{3}$ Fuss hoch; die dabei geleistete mechanische Arbeit beträgt dann $51\frac{2}{3} \times 42 = 2170$ Fusspfund. Vergleicht man die Zahlen 1988, 2100, 2170, welche die bei der Verdampfung von 1 Kubikzoll Wasser unter dem Drucke von 1, 2, 3 Atmosphären geleistete Arbeit in Fusspfund ausdrücken, so sieht man, dass dieselben zwar wachsen, was wir auch in dem vorigen Paragraphen bereits gesehen haben, dass sie jedoch nicht viel von einander abweichen und annähernd zu 2000 Fusspfund ange-

nommen werden können. Da nun 2000 Pfund = 1 Tonne sind, so kommt man zu dem Resultate, dass die Verwandlung von 1 Kubikzoll Wasser in Dampf annähernd eine mechanische Arbeit hervorbringt, die hinreicht, um 1 Tonne oder 20 Centner 1 Fuss hoch zu heben, und dass dieser Effect des Dampfes nahe derselbe bleibt, ob die Verdampfung bei 1, 2 oder 3 Atmosphären vor sich geht.

Da jedoch der Druck des Dampfes nicht in demselben Verhältnisse wie seine Dichtigkeit zunimmt, so kann auch die mechanische Arbeit desselben nicht bei allen Graden der Spannung genau gleich gross sein; bei grösseren Temperatur- oder Spannungsdifferenzen fällt daher auch die mechanische Arbeit desselben Dampfquantums ungleich aus; für Dampf von 3, 4, 5, 6 Atmosphären Spannung verhalten sich z. B. die bei der Verdampfung geleisteten mechanischen Effecte wie die Zahlen 19183, 19668, 20030, 20364.

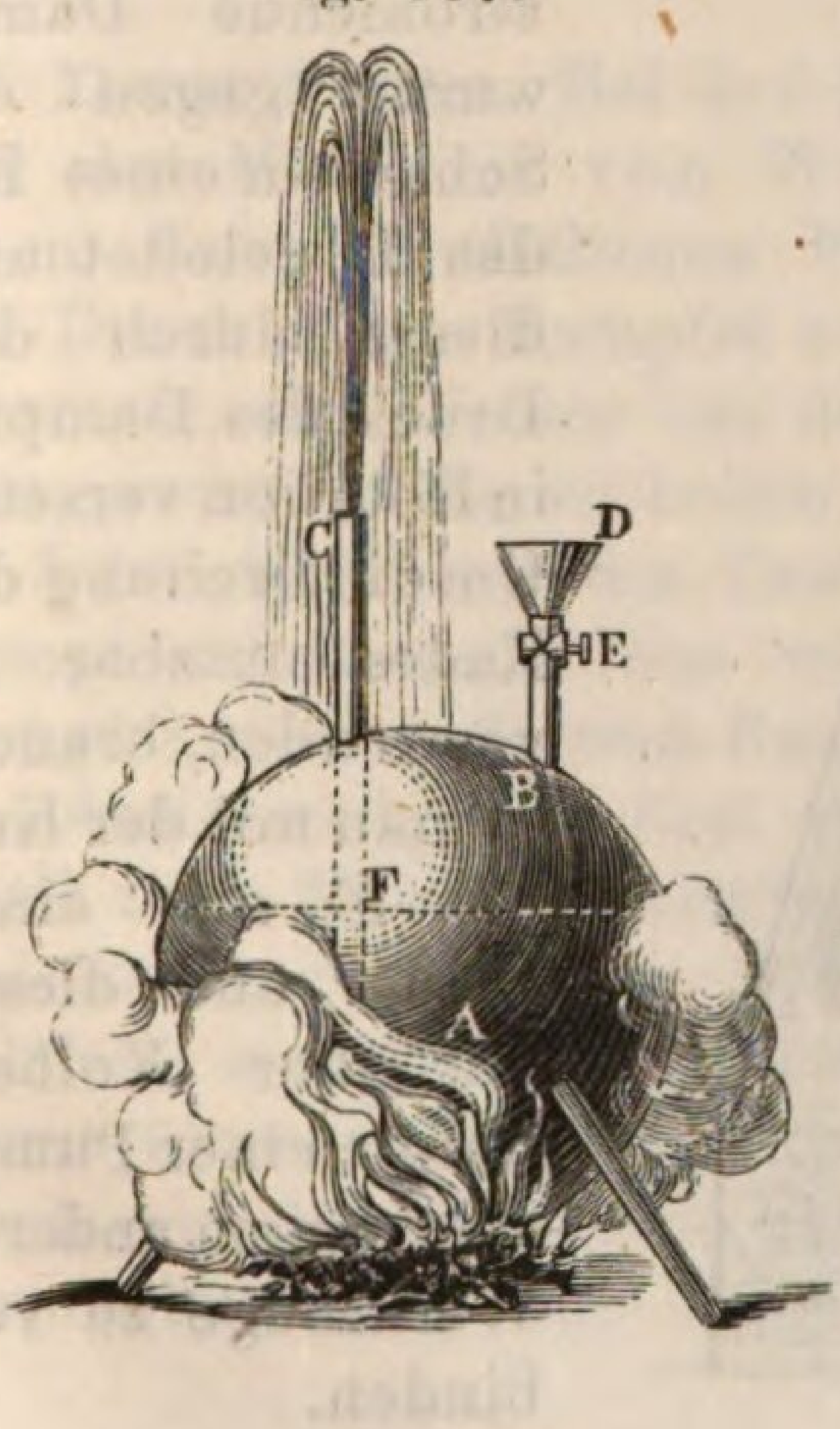
Man muss indessen nicht glauben, dass dieser volle Effect bei den Dampfmaschinen nutzbar gemacht werden könne; ein beträchtlicher Theil desselben wird durch die Reibung und durch andere Ursachen verzehrt, und nur ein verhältnissmässig kleiner Rest bleibt als Nutzeffect übrig.

Nehmen wir wieder das vorhin gedachte Rohr, in welchem der mit dem Drucke von 1 Atmosphäre belastete Kolben unter der Einwirkung des aus 1 Kubikzoll Wasser entstandenen Dampfes 1700 Zoll hoch gehoben worden ist, und condensiren wir den Dampf wieder zu Wasser, so entsteht unterhalb des Kolbens ein leerer Raum. Die atmosphärische Luft drückt nun den Kolben wieder in dem Rohre herab, so dass derselbe, wenn man von seinem Gewichte absieht, unter dem Drucke von 14 Pfund eine Strecke von 1700 Zoll oder nahe 142 Fuss abwärts durchläuft. Die hierbei geleistete Arbeit beträgt also ebenfalls wieder $14 \times 142 = 1988$ Fusspfund oder nahe 2000 Fusspfund. Wir gelangen also zu dem Resultate, dass 1 Kubikzoll Wasser 1700 Kubikzoll (nahe 1 Kubikfuss) Dampf von 14 Pfund Druck auf den Quadratzoll liefert, und dass hierdurch eine mechanische Arbeit von nahe 2000 Fusspfund geleistet wird; ferner dass durch Condensation dieses Dampfes eine ebenso grosse Arbeit erzeugt werden kann.

10. Der Wasserdampf als bewegende Kraft.

Geschichte der Erfindung der Dampfmaschine. Der Erste, der den Dampf als bewegende Kraft angewandt hat, scheint Hero von Alexandrien (120 v. Chr.) gewesen zu sein. Er benutzte die Reaction des aus einer Seitenöffnung eines Gefässes ausströmenden Wasserdampfes, um ganz nach Art des in §. 190 beschriebenen Wasser-Reactionsrades eine Drehung des Gefässes um eine feste Achse zu bewirken. Zu diesem Zwecke nahm er eine hohle metallene Kugel, welche sich zwischen zwei einander diametral gegenüberstehenden Zapfen umdrehen konnte. An den beiden Punkten, wo eine senkrecht zu der Umdrehungsachse durch die Mitte der Kugel gelegte Linie die Kugeloberfläche schneidet, brachte er zwei Ansatzrohre an, deren offene Enden nach entgegengesetzter Richtung umgebogen waren. Die Kugel wurde zum Theil und bis nahe an die Ansatzrohre mit Wasser gefüllt und dieses durch eine darunter gestellte Lampe zum Sieden gebracht. Der Dampf strömte dann aus den umgebogenen Röhren heraus und versetzte durch seine Reaction gegen die Röhrenwände die Kugel in Umdrehung. Wenn auch bei dieser Vorrichtung von Hero, welche man eine Aeolipile zu nennen pflegt, der Dampf wirklich als bewegende Kraft auftritt, so hat dieselbe doch offenbar mit den eigentlichen Dampfmaschinen, wie wir sie jetzt anwenden, weiter nichts gemein. 234

Fig. 357.



Salomon de Caus, 1576 wahrscheinlich in der Normandie geboren, beschrieb in einem während seines Aufenthaltes in Heidelberg 1615 erschienenen Buche „die Ursachen der bewegenden Kräfte, nebst verschiedenen ebenso nützlichen als unterhaltenden Maschinen“ eine Vorrichtung, um mittelst des Dampfes Wasser auf eine gewisse Höhe zu heben. Dieselbe bestand aus einer kupfernen Kugel *A*, Fig. 357, welche mit zwei Röhren *B*, *C* versehen war, von denen die erstere zum Füllen der Kugel mit

Wasser diente und daher mit einem Trichter *D* und mit einem Hahne *E* versehen war, die andere *C* aber bis nahe an den Boden der Kugel hinabreichte. Hatte man die Kugel durch das Rohr *B* zum Theil mit Wasser gefüllt, verschloss dann den Hahn *E* und stellte die Kugel ins Feuer, so fing das Wasser alsbald an zu kochen, und die oberhalb des Wasserspiegels sich ansammelnden Dämpfe trieben das Wasser in einem Strahle zu dem Rohre *C* hinaus.

Fig. 358.

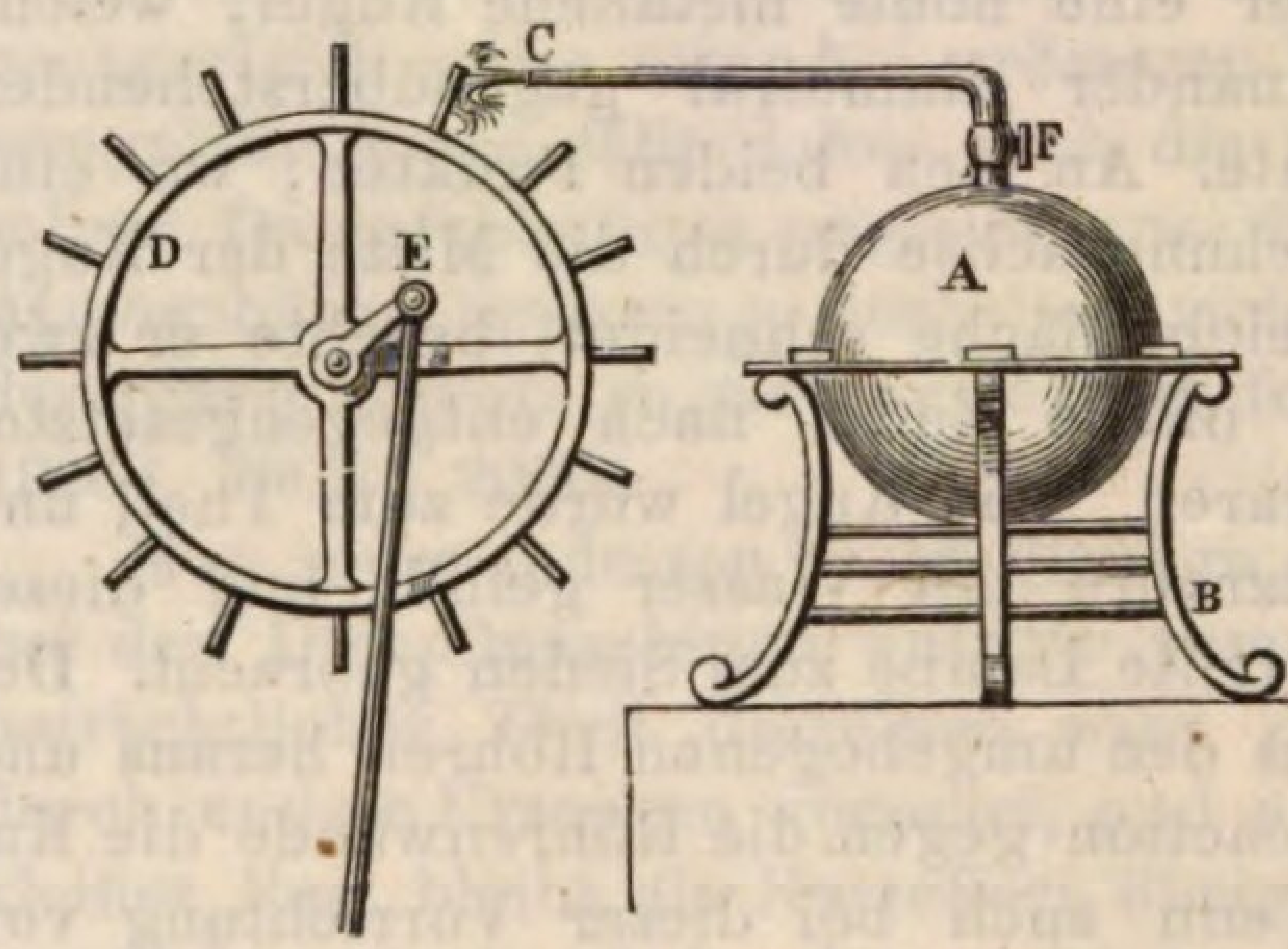
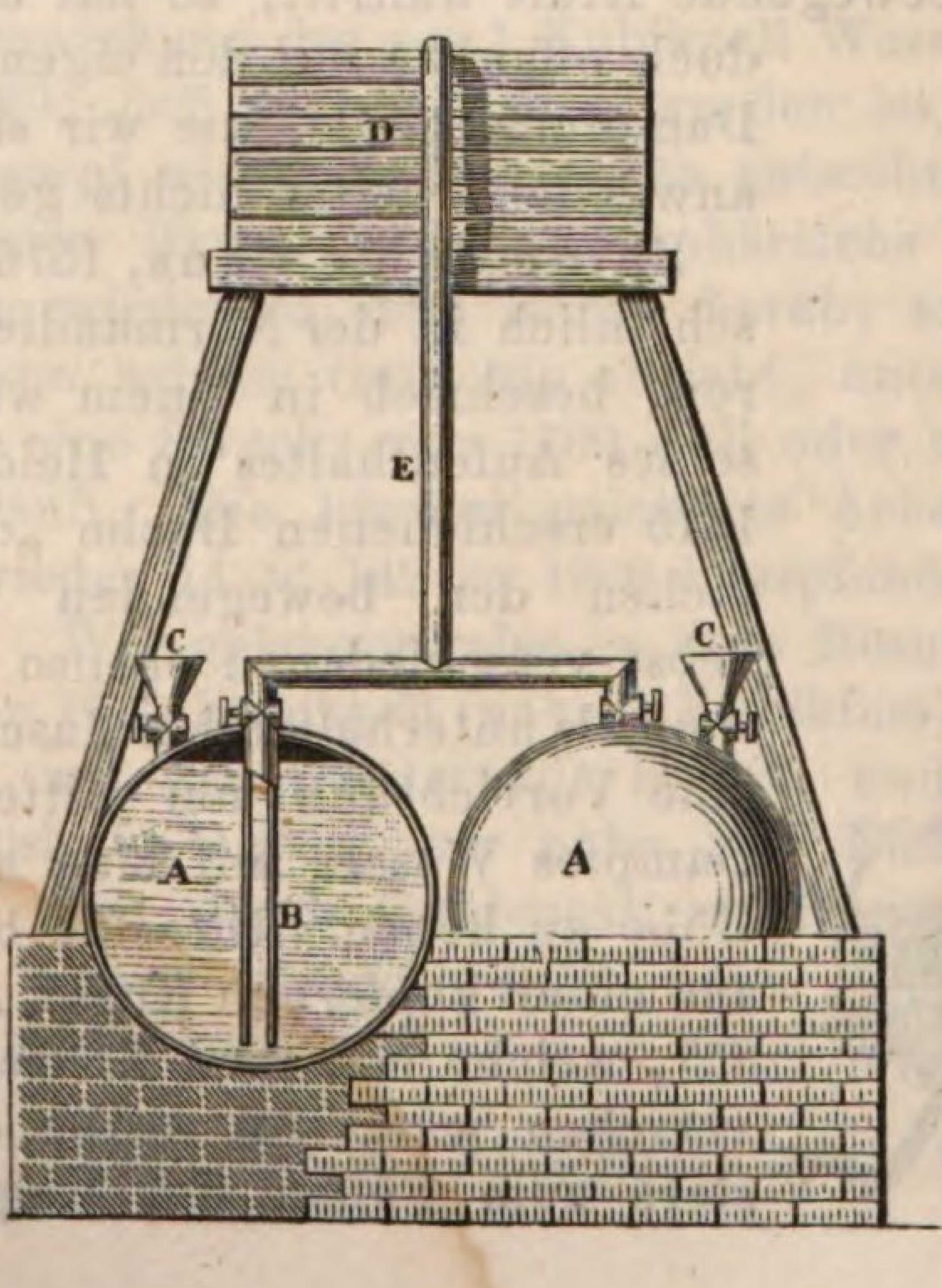


Fig. 359.



Der Italiener Branca beschrieb im Jahre 1629 eine Vorrichtung, welche in der Art und Weise, wie der Dampf wirkte, einige Aehnlichkeit mit der Aeolipile von Hero besass. Eine mit Wasser gefüllte Kugel *A*, Fig. 358, wurde auf einem kleinen Heerde *B* erhitzt, so dass das Wasser darin zum Kochen kam. Der durch ein horizontales Rohr *C* ausströmende Dampf wurde gegen die Schaufeln eines Rades *D* geleitet und dieses durch den Druck des Dampfes in Rotation versetzt. Um die Drehung des Rades nutzbar zu verwenden, brauchte man mit der Kurbel *E* nur einen Bläuel und diesen mit der Kolbenstange einer Pumpe oder einem anderen Werkzeuge zu verbinden.

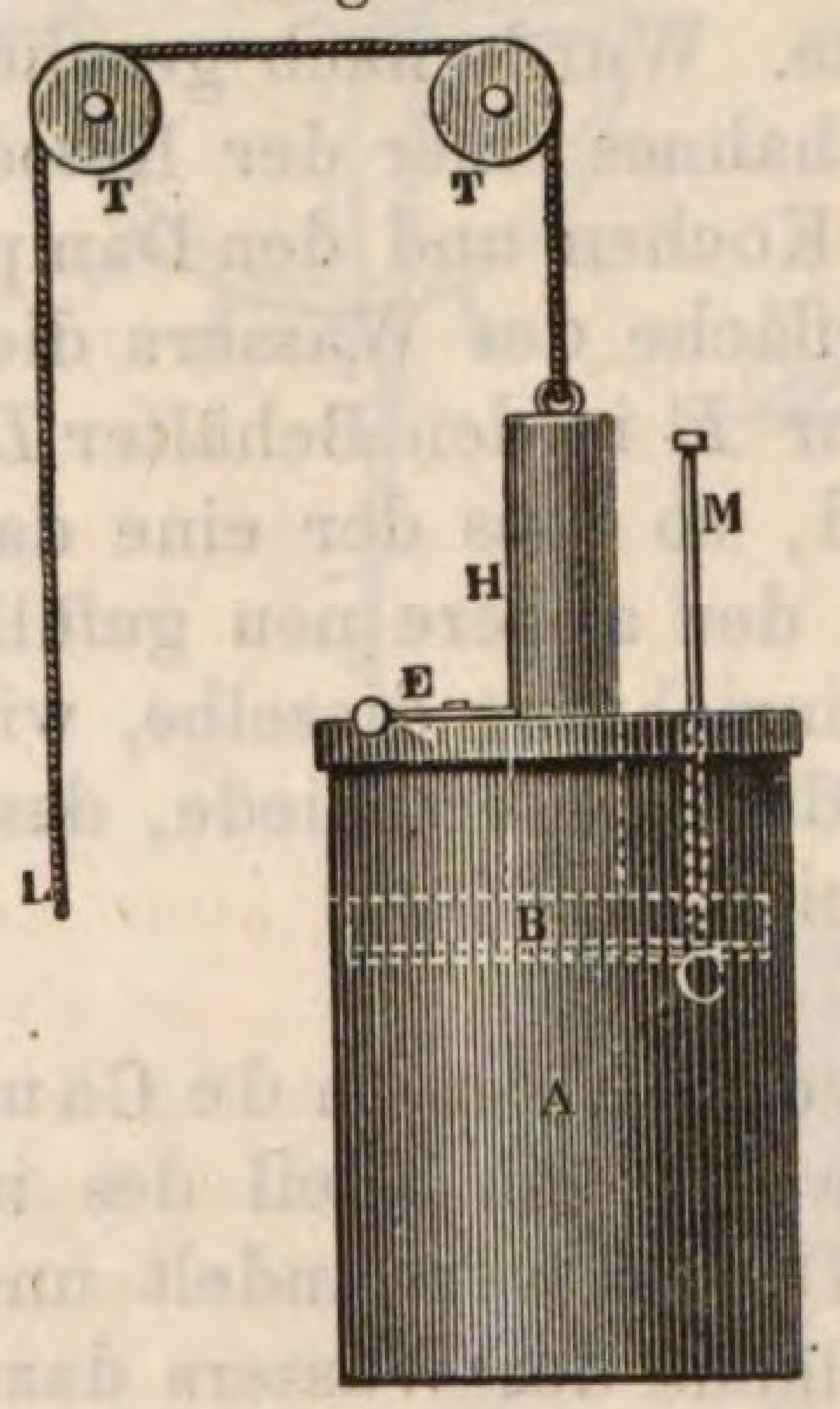
In England veröffentlichte der Marquis von Worcester im Jahre 1663 ein Buch, in welchem er unter einigen anderen älteren und neuen Erfindungen auf eine sehr unklare Weise eine Vorrichtung beschrieb, um mittelst des Feuers Wasser auf eine gewisse Höhe zu heben. Nach seiner Beschreibung hat diese Vorrichtung ungefähr folgende Einrichtung gehabt. Auf einem gemeinschaftlichen Heerde waren zwei kugelförmige Dampfkessel *A*, *A*, Fig. 359, nebeneinander eingemauert und behufs Einfüllung des Wassers mit absperrbaren Trichtern *C*, *C* versehen. In jedem Kessel reichte ein Rohr *B* bis nahe auf den Boden des Kessels; die beiden Rohre waren durch ein drittes Rohr mit einander verbunden und konnten vermittelst eines Hahnes einzeln mit diesem Rohre in Communication treten. Von diesem gemeinschaftlichen Verbindungsrohre ging endlich ein verticales Steigrohr *E* in die Höhe, dessen oberes Ende in ein höher gelegenes Reservoir *D* mündete. Wurde nach geschehener Füllung und Absperrung des Füllhahnes einer der Kessel erhitzt, so kam das Wasser darin zum Kochen und der Dampf trieb durch seinen Druck auf die Oberfläche des Wassers dieses durch das Rohr *B* und das Steigrohr *E* in den Behälter *D*. Die beiden Kessel wirkten abwechselnd, so dass der eine das Wasser in die Höhe presste, während der andere neu gefüllt wurde. Wie man sieht, ist die ganze Einrichtung dieselbe, wie die des Salomon de Caus, nur mit dem Unterschiede, dass sie zur Vermeidung von Zeitverlust zwei Kessel hat.

Denis Papin. Bei den Maschinen von Salomon de Caus 235
und des Marquis von Worcester wurde ein Theil des in einem Kessel enthaltenen Wassers in Dampf verwandelt und der Druck dieses Dampfes auf die Oberfläche des Wassers dazu verwandt, das Wasser aus dem Kessel hinauszupressen und auf eine gewisse Höhe zu heben. Denis Papin, geboren zu Blois im Jahre 1647, war der Erste, der auf den Gedanken kam, den Dampf auf einen Kolben wirken zu lassen und vermittelst des Dampfes einen luftleeren Raum herzustellen. Papin wurde 1687 von dem Landgrafen Carl von Hessen als Professor der Mathematik nach Marburg berufen, wo er die nächsten zwanzig Jahre verlebte und im Jahre 1690 einen Aufsatz veröffentlichte, in welchem er seine Idee näher erläuterte. Nachdem er sich darin zuerst über die Unzweckmässigkeit des Verfahrens, durch die Explosion des Pulvers einen luftleeren Raum zu erzeugen, ausgesprochen hat, sagt er weiter: „Da wegen einer dem Was-

ser zukommenden Eigenschaft eine kleine Menge dieser Flüssigkeit, wenn sie durch die Wirkung der Wärme in Dampf verwandelt wird, eine Spannkraft erhält, welche dem Drucke der Luft gleichkommt, und hierauf durch die Abkühlung wieder in den flüssigen Zustand zurückkehrt, ohne das Geringste von ihrer Spannkraft zu behalten, so bin ich darauf geführt worden zu glauben, dass man Maschinen construiren könne, bei welchen das Wasser, durch Anwendung einer mässigen Wärme und ohne grosse Kosten, die vollkommene Leere hervorbringen würde, welche man mit Hülfe des Schiesspulvers nicht erhalten kann."

Der Apparat, mit welchem Papin seine Versuche anstellte, bestand aus einem oben offenen und unten geschlossenen Cylinder *A*, Fig. 360, in welchem sich ein dicht anschliessender Kolben auf- und abbewegen liess. In dem Kolben befand sich eine Oeffnung *C*, welche sich durch Einschrauben eines Stöpsels *M* verschliessen liess. Mit dem Kolben *B* war die Kolbenstange *H* verbunden und das obere Ende derselben an ein über zwei Rollen *T*, *T* geführtes Seil befestigt. Zuerst wurde etwas Wasser in den Cylinder gegossen und dann der Kolben so tief herabgedrückt, bis er die Oberfläche des Wassers berührte; bei dieser Bewegung des Kolbens konnte die darunter befindliche Luft durch die Oeffnung *C* entweichen. Nachdem dieses geschehen war, wurde diese Oeffnung durch Einschrauben der Stange *M* verschlossen und das Wasser in dem Cylinder zum Kochen gebracht. Da der Druck des Dampfes von 100° C. gleich ist dem Drucke der atmosphärischen Luft, so brauchte der Dampf nur ein wenig mehr erhitzt zu werden, um den Druck der Luft überwinden zu können; sobald dieses der Fall war, wurde der Kolben *B* bis an das obere Ende des Cylinders in die Höhe gehoben. Hier angekommen, wurde er durch das Einschieben eines Riegels *E* in einen dazu passenden Einschnitt der Kolbenstange *H* festgehalten und das Feuer von dem Cylinder entfernt. Durch die nun erfolgende Abkühlung des Cylinders condensirte sich der Dampf unter dem Kolben, die Spannkraft

Fig. 360.



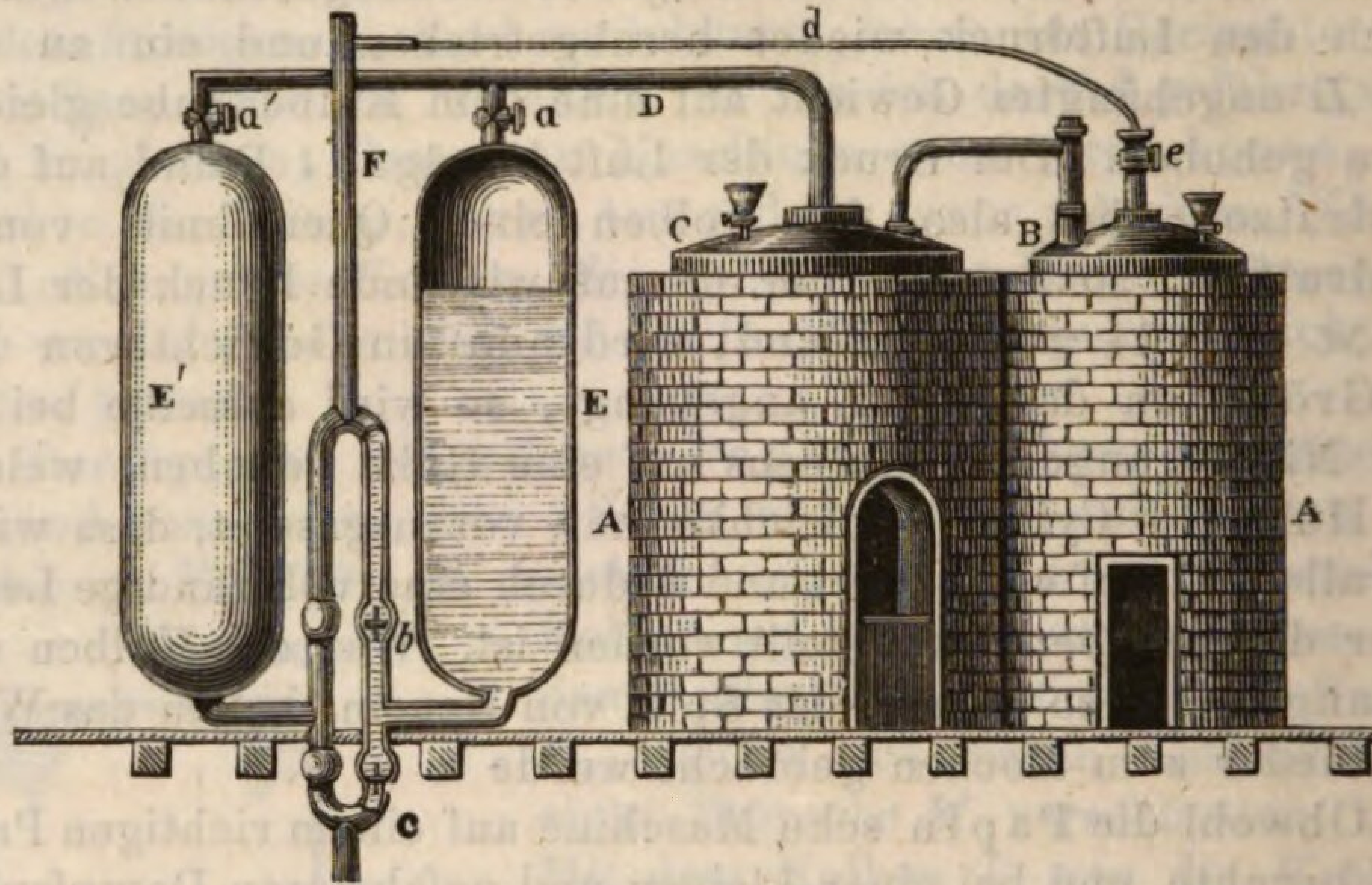
desselben wurde vernichtet und der Druck gegen die **untere** Seite des Kolbens aufgehoben. Da auf die obere Seite des letzteren immer noch der volle atmosphärische Druck wirkte, so wurde der Kolben, wenn der Riegel E zurückgeschoben wurde, durch den Luftdruck wieder herabgetrieben und ein an das Seil L angehängtes Gewicht auf eine dem Kolbenhube gleiche Höhe gehoben. Der Druck der Luft beträgt 14 Pfund auf den Quadratzoll; hat also der Kolben einen Querschnitt von 3 Quadratfuss, so beträgt der darauf wirkende Druck der Luft $144 \times 3 \times 14 = 6048$ Pfund; wird nun ein Gewicht von dieser Grösse an das Seil L angehängt, so wird dasselbe bei jedem Niedergange des Kolbens auf eine Höhe gehoben, welche der Höhe des Cylinders gleichkommt, vorausgesetzt, dass wirklich aller Dampf condensirt und dadurch eine vollständige Leere unter dem Kolben hergestellt worden ist. War der Kolben unten angelangt, so begann das Spiel von Neuem, indem das Wasser wieder zum Kochen gebracht wurde u. s. w.

Obwohl die Papin'sche Maschine auf einem richtigen Principe beruhte, und bei einer kleinen und gefahrlosen Dampfspannung eine grosse Kraft hervorzubringen gestattete, so fand dieselbe doch nur wenig Beachtung, weil Papin es unterliess, dieselbe zur Ausführung irgend einer bestimmten Nutzarbeit praktisch einzurichten.

Die Savery'sche Maschine. Der englische Marinecapitain und Ingenieur Thomas Savery wandte um dieselbe Zeit (1689) eine andere Art und Weise an, um mittelst des Dampfes Wasser in die Höhe zu heben, und zwar unterschied sich seine Vorrichtung von der des Salomon de Caus und des Marquis von Worcester dadurch, dass der Dampf in einem besondern, von dem zu hebenden Wasser völlig getrennten Dampfkessel erzeugt wurde. Die Maschine von Savery bestand aus zwei mit einander in Verbindung stehenden Dampfkesseln B, C (Fig. 361 a. f. S.), aus zwei Wasserbehältern E, E' und einem Saug- und Steigrohre F. Der Dampf konnte durch das Rohr D, je nachdem der Hahn a oder a' geöffnet wurde, in den Behälter E oder E' eingelassen werden. Liess man den Dampf in den mit Wasser gefüllten Behälter E einströmen, so drückte er auf die Oberfläche des Wassers und presste dieses in das Steigrohr F hinauf; wurde dann der Hahn a abgesperrt und a' geöffnet, so konnte E erkalten und der darin befindliche Dampf sich condensiren, wogegen der Dampf nun auf die Oberfläche des Was- 236

sers in *E'* wirkte und dieses in das Steigrohr *F* hinaufpresste. Durch die Condensation des Dampfes in *E* entstand in diesem

Fig. 361.



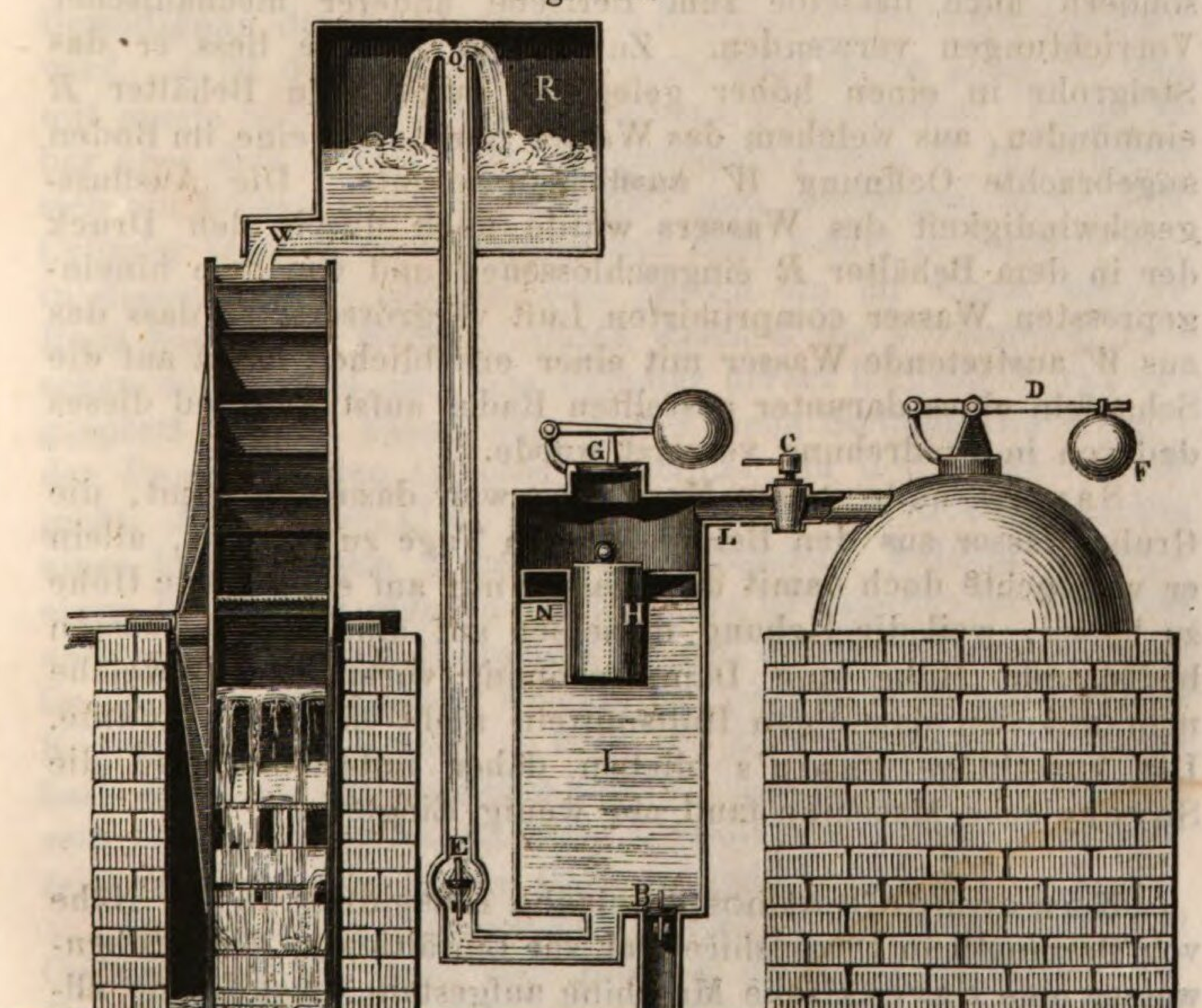
Behälter ein luftleerer Raum, und das tiefer stehende Wasser, z. B. das Grubenwasser, konnte durch den Druck der äusseren Luft in den Behälter *E* gelangen. Um sowohl dem Unterwasser als auch dem gepressten Wasser den rechten Weg einerseits in den zu füllenden Behälter *E* oder *E'*, andererseits zu dem Steigrohr *F* anzuweisen, waren in jedem der beiden Seitenarme, in welche sich das Rohr unten theilte, zwei von unten nach oben sich öffnende Ventile, wie sie bei *b* und *c* sichtbar sind, angebracht, von denen die unteren, wie *c*, Einlassventile für das Unterwasser, die oberen, wie *b*, Druckventile für den Eintritt des gepressten Wassers in das Steigrohr *F* waren. Wirkte nun der Dampf in *E*, so wurde das Wasser aus *E* zunächst zwischen *c* und *b* gepresst; das Ventil *c* wurde geschlossen, *b* geöffnet und das Wasser konnte in das Steigrohr *F* gelangen. Wurde darauf *a* geschlossen und der Dampf durch *a'* in *E'* eingeführt, so wurde das Wasser aus *E'* wie vorhin in *F* hinaufgepresst; bei der gleichzeitig erfolgenden Condensation des Dampfes in *E* aber und der dadurch erzeugten Leere wurde der Druck der atmosphärischen Luft auf das Unterwasser überwiegend und dieses selbst durch das aufgestossene Ventil *c* in den Behälter *E* hineingedrückt. Auf diese Weise wirkte die Maschine nach Art einer doppelt wirkenden Druckpumpe, indem gleichzeitig das Wasser aus einem der bei-

den Behälter E, E' in das Steigrohr gepresst, und das Unterwasser in dem anderen Behälter aufgesaugt wurde. Von dem Steigrohre F war ein engeres Rohr d nach einem der beiden Kessel B abgezweigt, um dieselben wieder mit Wasser zu füllen, wenn das Wasser darin verdampft war.

Wenn auch in dieser Maschine der Dampf in einem besonderen Kessel erzeugt wurde, so litt sie doch an dem grossen Uebelstande, dass der Dampf stets mit der Oberfläche des Wassers in einem der Behälter E, E' in Berührung kam und folglich so lange condensirt wurde, bis dieses Wasser sich nach und nach bedeutend erhitzt hatte. Erst wenn dieses geschehen und also sehr viele Wärme nutzlos verloren war, behielt der in E oder E' einströmende Dampf so viel Spannkraft, dass er das Wasser vor sich herdrücken und durch das Steigrohr auf die erforderliche Höhe heben konnte.

Um diesem grossen Uebelstande abzuhelfen, brachte Papin 1707 in dem Druckcylinder einen schwimmenden Kolben NH, Fig. 362, an, auf dessen Oberfläche der Dampf einwirkte. Der

Fig. 362.



Cylinder *I* stand mit dem Dampfkessel durch ein Rohr *L* in Verbindung, und der Dampf konnte durch Umdrehen eines Hahnes *C* nach Belieben in den Cylinder *I* eingeführt oder davon abgesperrt werden. Zwei Sicherheitsventile *D*, *G*, als deren Erfinder ebenfalls Papin zu bezeichnen ist, waren auf dem Kessel und dem Cylinder angebracht, um zu verhüten, dass der Dampf eine zu grosse Spannung annehme. Der Kolben *NH* war hohl, damit er auf der Wasseroberfläche schwimmen konnte. Von den beiden Ventilen *B*, *E* diente das erstere als Einlassventil für das aufsteigende Unterwasser, das andere als Druckventil für das gepresste Wasser. Bei dieser Einrichtung kam der Dampf in dem Druckcylinder *I* nicht direct mit dem zu hebenden kalten Wasser in Berührung, er konnte daher ohne sich zu condensiren bei seinem Eintreten in *I* sofort einen Druck auf den Kolben *NH* ausüben und so das Wasser aus *I* in das Steigrohr *EQ* hineinpressen.

Papin begnügte sich nicht mit dieser Verbesserung; er wollte das Wasser nicht bloss auf eine gewisse Höhe heben, sondern auch dasselbe zum Betriebe anderer mechanischer Vorrichtungen verwenden. Zu diesem Zwecke liess er das Steigrohr in einen höher gelegenen luftdichten Behälter *R* einmünden, aus welchem das Wasser nur durch eine im Boden angebrachte Oeffnung *W* ausfliessen konnte. Die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers wurde noch durch den Druck der in dem Behälter *R* eingeschlossenen und von dem hineingepressten Wasser comprimirten Luft vergrössert, so dass das aus *W* austretende Wasser mit einer erheblichen Kraft auf die Schaufeln eines darunter gestellten Rades aufstiess, und dieses dadurch in Umdrehung versetzt wurde.

Savery hatte seine Maschine zwar dazu bestimmt, die Grubenwasser aus den Bergwerken zu Tage zu fördern, allein er vermochte doch damit das Wasser nur auf eine kleine Höhe zu heben, weil die Hebung desselben auf eine einigermaassen bedeutende Höhe eine Dampfspannung voraussetzte, welche man mit den damaligen Hülfsmitteln nicht erreichen konnte. Die Vorschläge Papin's blieben daher unbeachtet und die Savery'sche Maschine fand nur wenig Eingang.

237 **Newcomen's atmosphärische Maschine.** In der Nähe von Darmouth in Devonshire war zur Bewältigung der Grubenwasser eine Savery'sche Maschine aufgestellt, welche die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich zog. Der Schlosser Thomas

Newcomen erkannte alsbald die grossen Mängel derselben und vereinigte sich mit einem Glaser John Cawley und mit Savery selbst, um eine neue Maschine zu bauen und für die Verbesserungen ein Patent zu erhalten. Das Patent wurde ihnen im Jahre 1705 ertheilt, die Maschine kam jedoch erst nach vielen überstandenen Schwierigkeiten im Jahre 1712 zu Stande.

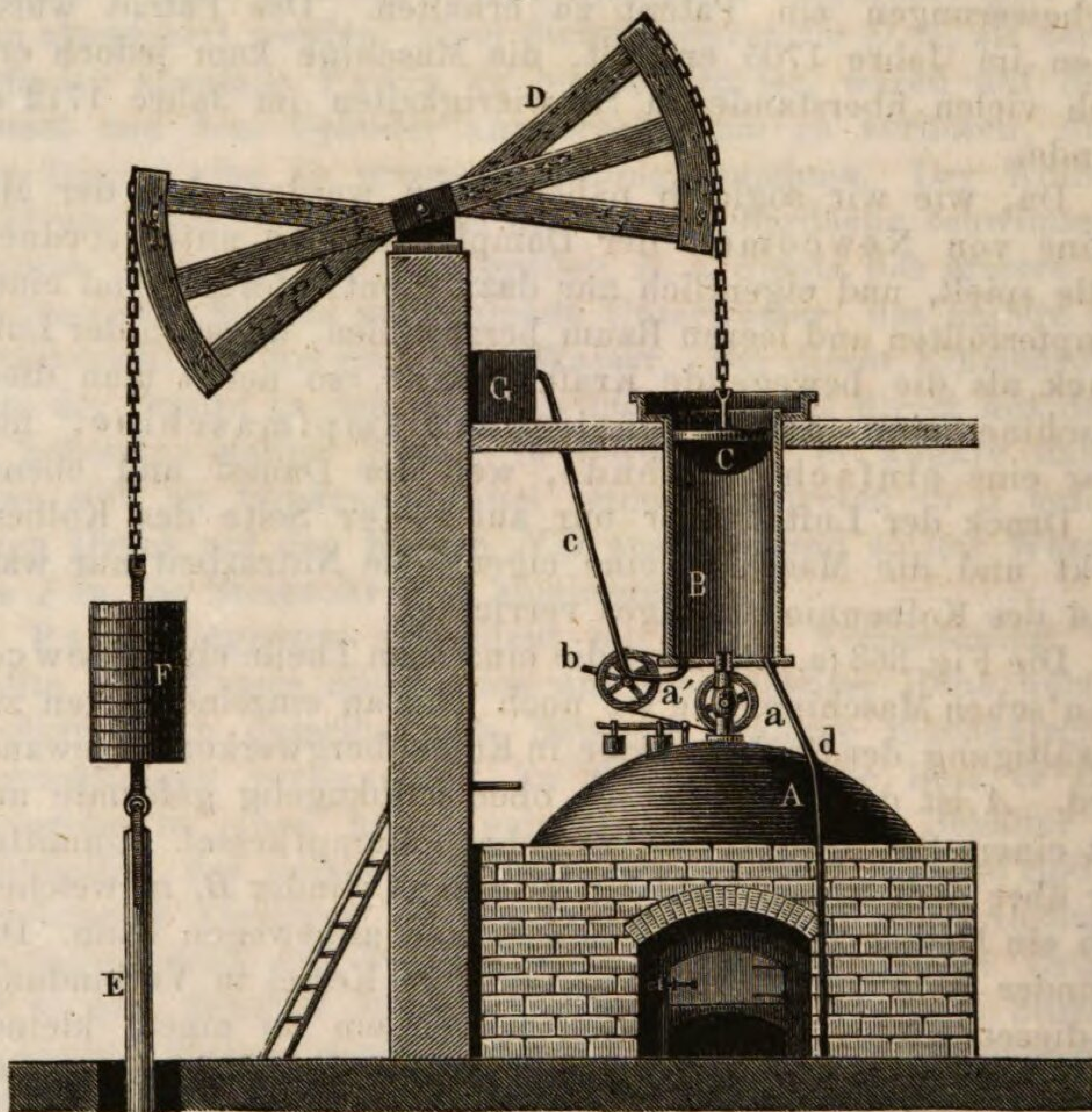
Da, wie wir sogleich näher sehen werden, bei der Maschine von Newcomen der Dampf nur eine untergeordnete Rolle spielt, und eigentlich nur dazu dient, abwechselnd einen dampferfüllten und leeren Raum herzustellen, dagegen der Luftdruck als die bewegende Kraft auftritt, so nennt man diese Maschine eine atmosphärische Dampfmaschine, und zwar eine einfach wirkende, weil der Dampf und ebenso der Druck der Luft immer nur auf einer Seite des Kolbens wirkt und die Maschine eine eigentliche Nutzarbeit nur während des Kolbenniederganges verrichtet.

Die Fig. 363 (a.f.S.) zeigt die einzelnen Theile einer Newcomen'schen Maschine, wie sie noch jetzt an einzelnen Orten zur Bewältigung der Grubenwasser in Kohlenbergwerken angewandt wird. *A* ist der unten flache, oben halbkugelig geformte und mit einem Sicherheitsventil versehene Dampfkessel. Unmittelbar über dem Kessel steht ein eiserner Cylinder *B*, in welchem sich ein Kolben *C* dampfdicht auf- und abbewegen kann. Der Cylinder steht durch ein Rohr mit dem Kessel in Verbindung; in diesem Rohre befindet sich jedoch ein an einem kleinen Rade befestigter Hahn *a*, durch welchen die Verbindung zwischen dem Kessel und dem Cylinder derart hergestellt und abgesperrt werden kann, dass in der einen Stellung des Hahnes der Dampf in den Cylinder einströmt, in der anderen aber nicht. Der Kolben *C* ist durch eine Kette mit dem Endpunkte eines kreisförmigen Holzstückes verbunden, welches an dem einen Ende eines starken Balanciers *D* angebracht ist. Das andere Ende dieses Balanciers ist auf dieselbe Weise mit dem Gestänge *E* verbunden, welches tief unten im Bergwerke den Kolben der Pumpe trägt (§. 164). An diesem Gestänge ist unterhalb der Kette ein schwerer Klotz *F* angebracht, welcher durch sein Gewicht den im Cylinder befindlichen Kolben *C* vermittelst des Balanciers in die Höhe zu ziehen vermag.

Steht nun im Anfange der Kolben *C* auf dem Boden des Cylinders *B*, und wird der Hahn *a* geöffnet, so strömt der Dampf, dessen Spannkraft nur wenig grösser ist, als der Druck

der atmosphärischen Luft, in den Cylinder unter den Kolben und treibt unter Mitwirkung des an dem Pumpengestänge be-

Fig. 363.



festigten Klotzes *F* den Kolben in die Höhe; die Pumpenstange *E* wird also abwärts bewegt. Sobald der Kolben oben im Cylinder angekommen ist, wird der Dampfhahn *a* geschlossen. Wenn man nun den unter dem Kolben befindlichen Dampf auf irgend eine Weise condensirt, so wird seine Spannkraft vernichtet, und da der Druck der atmosphärischen Luft, der stets auf die äussere Fläche des Kolbens wirkt, keinen Gegendruck mehr erhält, so treibt er, das Gewicht des Klotzes *F* überwindend, den Kolben *C* wieder herab, und giebt der Pumpenstange *E* eine aufsteigende Bewegung.

Anfangs bewirkte man die Condensation des in dem Cylinder *B* enthaltenen Dampfes, wie bei der Savery'schen Maschine, durch Bespritzen der äusseren Wandtheile mit kaltem Wasser; allein dieses Mittel wirkte nur sehr langsam. Als je-

doch eines Tages der Kolben plötzlich anfing, im Cylinder sehr schnell abwärts zu gehen und man der Ursache dieser auffallenden Erscheinung nachforschte, ergab sich, dass der Kolben ein kleines Loch hatte, und dass das Wasser, welches man zur Herstellung einer grösseren Dichtung auf den Kolben gegossen hatte, tropfenweise durch dieses Loch in den Cylinder *B* eindrang und die Condensation des Dampfes auf sehr wirksame Weise beschleunigte. Von diesem Augenblicke an benutzte man diese Erscheinung und spritzte das kalte Wasser nicht mehr auf die Aussenwände des Cylinders, sondern in das Innere desselben hinein. Die Condensation des Wasserdampfes unterhalb des Kolbens geschieht nun auf folgende Weise.

Ein Rohr *c* setzt das mit kaltem Wasser gefüllte Reservoir *G* mit dem Boden des Dampfcylinders *B* in Verbindung; durch Umdrehen eines in diesem Rohre befindlichen Hahnes *a'*, dessen Kopf ebenfalls auf einem kleinen Rade sitzt, kann diese Verbindung zwischen *G* und *B* hergestellt oder unterbrochen werden. Die beiden Rädchen der Hähne *a* und *a'* sind durch eine Schnur ohne Ende mit einander verbunden, so dass sich kein Hahn bewegen kann, ohne den anderen mitzunehmen. Die Drehung der Hähne wird durch die Kurbel *b* vermittelt, und zwar sind die Hähne so gestellt, dass, wenn der eine offen ist, der andere sich in der geschlossenen Stellung befindet. Bei dem höchsten Stande des Kolbens *C*, wie es die Figur zeigt, wird der Hahn *a* geschlossen, dagegen *a'* geöffnet; das kalte Wasser strömt daher aus dem Reservoir *G* in den Cylinder *B* und bewirkt die Condensation des Dampfes. Der Luftdruck treibt dann den Kolben herunter und versetzt ihn wieder in seine tiefste Stellung am Boden des Cylinders. Das Condensationswasser wird durch das mit einem Ventil versehene Rohr *d* aus dem Cylinder weggeschafft. Werden jetzt die Hähne verstellt, so dass *a* geöffnet, *a'* geschlossen wird, so strömt der Dampf neuerdings unter den Kolben; das Gleichgewicht zwischen dem Dampf- und dem Luftdruck wird wieder hergestellt und durch das Uebergewicht des Klotzes *F* der Kolben wieder in die Höhe gezogen.

Wie ein abermaliges Verstellen der Hähne, nachdem der Kolben seinen Hub vollendet hat, den Dampf von Neuem condensirt, und die Maschine durch das abwechselnde Spiel der Hähne *a* und *a'* die Pumpe zu treiben im Stande ist, wird nun ohne Weiteres klar sein. Es verdient nur noch bemerkt zu werden, dass das abwechselnde Oeffnen und Schliessen der

Hähne anfänglich einem Knaben übertragen war, der indessen bald fand, dass diese Hahnbewegungen in einer festen Beziehung zu der periodischen Bewegung des Balanciers standen, und in der That es fertig brachte, vermittelst einiger Schnüre die Hähne derart mit dem Balancier zu verbinden, dass ihre Bewegungen durch letztern selbst besorgt wurden. Von da an war der Gang der Maschine der Einwirkung der menschlichen Hand vollständig entzogen; nachdem man noch einen Schritt weiter gegangen war, und im Jahre 1718 statt der Schnüre feste Stangen und Hebel anwandte, erreichte die atmosphärische Dampfmaschine Newcomen's einen solchen Grad der Vollkommenheit, dass sie in einer Minute 15 Kolbenspiele machte.

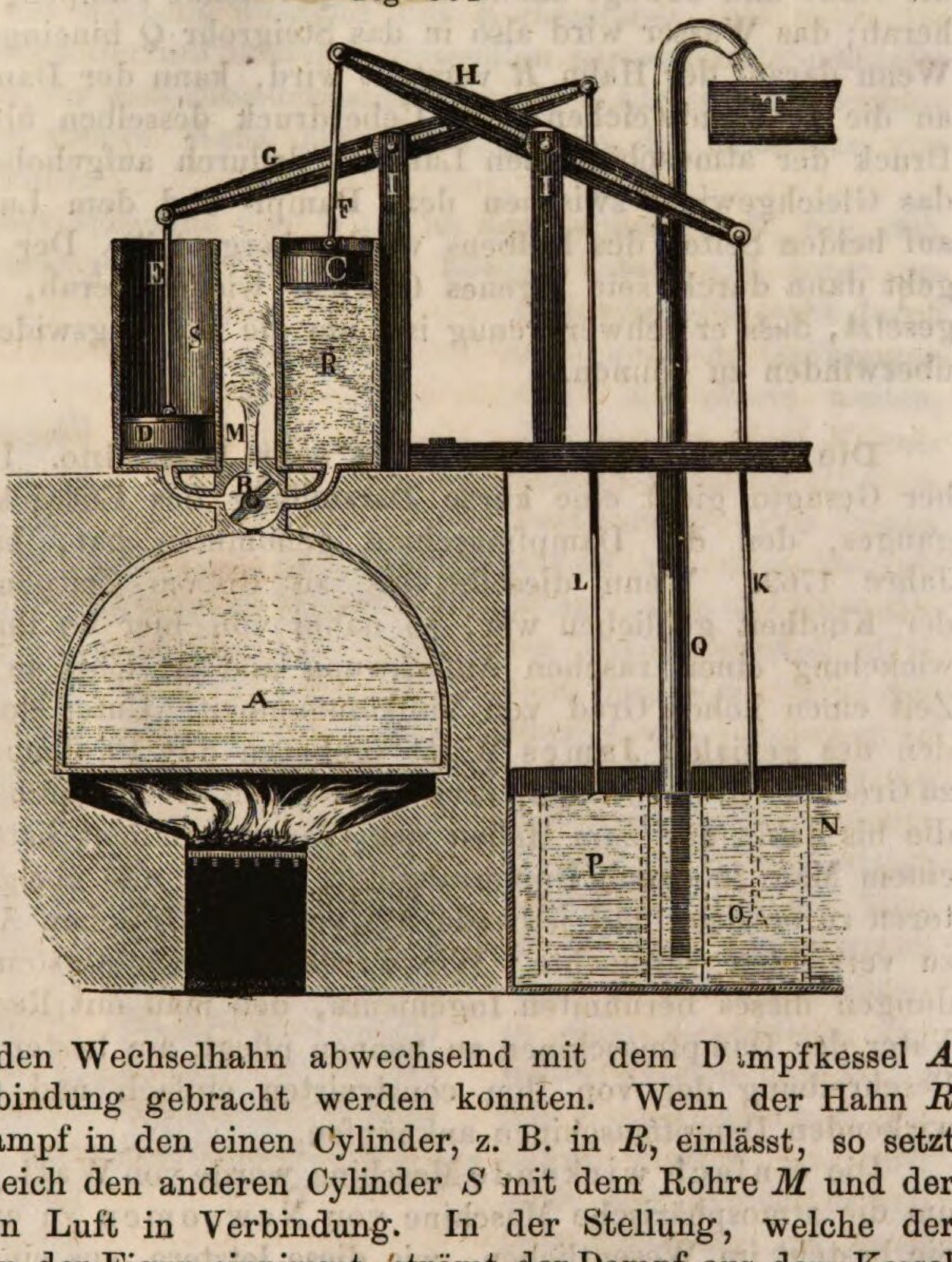
Mit welcher Kraft die Maschine zu arbeiten vermag, ersieht man bald aus einem Zahlenbeispiele. Es sei der Durchmesser des Cylinders oder des Kolbens 4 Fuss, so enthält die Oberfläche des Kolbens, gegen welche die Luft drückt, $12\frac{1}{2}$ Quadratfuss. Da nun der Luftdruck gegen 1 Quadratzoll 14 Pfund beträgt und 1 Quadratfuss = 144 Quadratzoll ist, so beträgt der Luftdruck gegen 1 Quadratfuss schon 2016 Pfund, und gegen die ganze Kolbenfläche $12\frac{1}{2} \times 2016 = 25200$ Pfund. Es wird daher der blosse auf den Kolben wirkende atmosphärische Druck ausser dem Klotze F selbst dann noch eine beträchtliche Wassermenge heben können, wenn die Condensation des Dampfes nicht ganz vollständig geschieht und noch ein kleiner Gegendruck gegen die untere Kolbenfläche nebst einiger Reiung übrig bleibt.

238 **Papin's Hochdruckmaschine.** Da bei der atmosphärischen Maschine der Dampf ausschliesslich die Aufgabe hat, dem Druck der atmosphärischen Luft das Gleichgewicht zu halten, so darf seine Spannung nicht über eine Atmosphäre hinausgehen. In diesem Falle aber muss der Dampf nothwendig condensirt werden, wozu eine grosse Menge kalten Wassers erforderlich ist. Wenn man dagegen den Dampf mit einer höheren Spannung auf den Kolben wirken lässt, so kann man das Spiel der Maschine auch ohne Condensation des Dampfes unterhalten, wenn man statt derselben den Dampf nach geschehenem Kolbenhube frei an die Luft austreten lässt und dadurch eine Verminderung der Dampfspannung erzeugt. Dampfmaschinen dieser Art werden Hochdruckmaschinen, oder Maschinen ohne Condensation genannt.

Papin hat zuerst eine solche Maschine construirt; dieselbe

bestand nach der Beschreibung von Leupold (1724) aus dem Dampfkessel *A*, Fig. 364, und den beiden Cylindern *R*, *S*, welche

Fig. 364.



durch den Wechselhahn abwechselnd mit dem Dampfkessel *A* in Verbindung gebracht werden konnten. Wenn der Hahn *R* den Dampf in den einen Cylinder, z. B. in *R*, einlässt, so setzt er zugleich den anderen Cylinder *S* mit dem Rohre *M* und der äusseren Luft in Verbindung. In der Stellung, welche der Hahn in der Figur einnimmt, strömt der Dampf aus dem Kessel in den Cylinder *R*, während der Dampf des Cylinders *S* durch *M* in die äussere Luft entweichen kann. Dreht man den Hahn um 90 Grad, so strömt umgekehrt der Dampf in *S* ein, und der Dampf des Cylinders *R* kann nach aussen frei entweichen. Die Kolben *C*, *D* sind mittelst der Kolbenstangen *E*, *F* an die beiden Balanciers *G*, *H* angehängt, während die anderen Enden dieser Balanciers auf die Pumpengestänge *K*, *L* und damit auf die Pumpen *O*, *P* einwirken, um das Wasser in den Behälter *N* und aus diesem in das Steigrohr *Q* und das höher gelegene

Reservoir *T* zu heben. Wenn der Dampf unter einen der beiden Kolben *C, D* zugelassen wird, so drückt er denselben in die Höhe und bewegt damit das entsprechende Pumpengestänge herab; das Wasser wird also in das Steigrohr *Q* hineingepresst. Wenn darauf der Hahn *R* verstellt wird, kann der Dampf frei an die Luft entweichen; der Ueberdruck desselben über den Druck der atmosphärischen Luft ist dadurch aufgehoben und das Gleichgewicht zwischen dem Dampf- und dem Luftdruck auf beiden Seiten des Kolbens wieder hergestellt. Der Kolben geht dann durch sein eigenes Gewicht wieder herab, vorausgesetzt, dass er schwer genug ist, um die Reibungswiderstände überwinden zu können.

239 **Die einfach wirkende Watt'sche Maschine.** Das bisher Gesagte giebt eine kurze Darstellung des Entwickelungsganges, den die Dampfmaschine genommen hat, bis zum Jahre 1769. Wenn dieselbe bis zu diesem Zeitpunkte in der Kindheit geblieben war, so nahm von hier an ihre Entwickelung einen raschen Aufschwung und erreichte in kurzer Zeit einen hohen Grad von Vollkommenheit. Unter den Händen des genialen James Watt (geboren den 19. Januar 1736 zu Greenock in Schottland) verwandelte sich die Dampfmaschine, die bis dahin nur zum Heben des Wassers gedient hatte, mit einem Male zu einem Universalmotor, welcher alle übrigen Motoren zu ersetzen und jedwede Art von mechanischen Arbeiten zu verrichten vermochte. Wir werden die wichtigsten Erfindungen dieses berühmten Ingenieurs, den man mit Recht den Vater der Dampfmaschinen zu nennen pflegt, am besten an die Beschreibung der von ihm construirten einfach und doppelt wirkenden Dampfmaschinen anknüpfen.

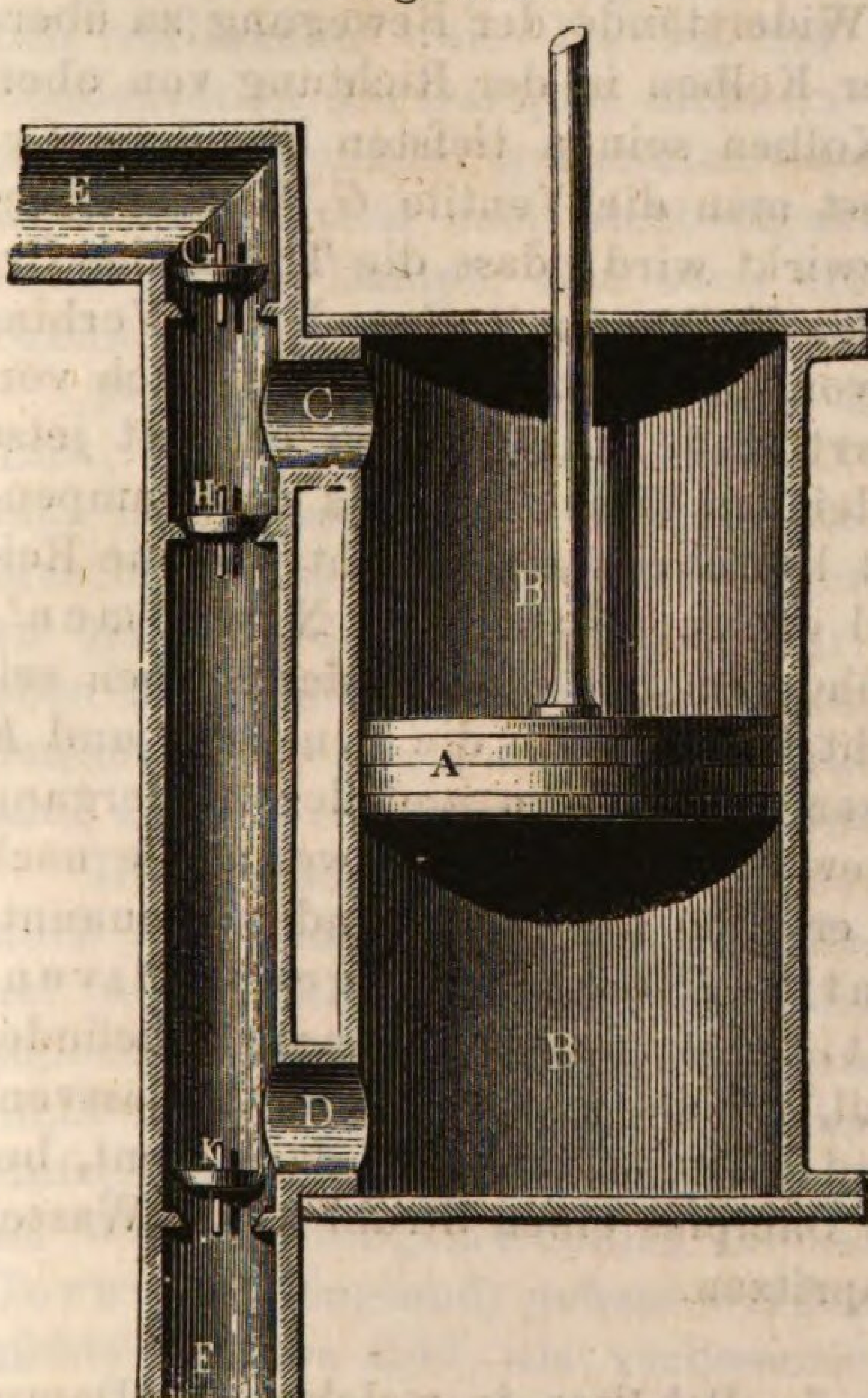
Die einfach wirkende Maschine wurde von Watt gebaut, um die atmosphärische Maschine von Newcomen zu ersetzen. Sie besteht im Wesentlichen, wie diese letztere, aus einem Cylinder, in welchem sich ein Kolben abwechselnd auf- und abbewegen lässt.

Die Kolbenstange ist ebenfalls mit dem einen Ende eines Balanciers verbunden, dessen anderes Ende vermittelst eines auf- und abgehenden Gestänges eine Pumpe in Bewegung setzt. In der Maschine von Watt wird daher, wie in der Newcomen'schen Maschine, der Kolben in dem Cylinder nur durch das Uebergewicht der Pumpenstange in die Höhe gehoben, wogegen der Niedergang desselben durch den atmosphärischen

Ueberdruck auf die äussere Kolbenfläche hervorgebracht wird. Aber es wird sowohl die Gleichheit des Druckes auf beiden Seiten des Kolbens während des Kolbenhubes, als auch der Unterschied der auf beiden Kolbenseiten wirksamen Druckkräfte während des Kolbenniederganges in der Watt'schen Maschine auf eine andere Weise hergestellt, als in der Maschine von Newcomen.

In der Maschine von Watt ist der Cylinder *BB*, Fig. 365, in welchem sich der Kolben *A* bewegt, oben und unten geschlossen und steht durch zwei seitliche Oeffnungen *C*, *D* mit einem weiten, drei Ventile *G*, *H*, *K* enthaltenden Rohre *EF* in Verbindung. Der Dampf strömt aus dem Dampfkessel durch ein besonderes Zuleitungsrohr oberhalb des Ventils *G* in das Rohr *E* ein. Nachdem er im Cylinder *B* gewirkt hat, wovon wir sogleich näher sprechen werden, tritt er jedesmal durch das Ventil *K* und den unteren Theil *F* des Seitenrohres in einen besonderen Behälter, welcher von Watt der Condensator genannt worden ist, und trifft dort gleich bei seinem Eintreten auf einen Strahl kalten Wassers, welches von aussen eingespritzt wird. Durch die Berührung mit dem kalten Wasser wird der Dampf condensirt und seiner Spannkraft beraubt, und da hiernach in dem Condensator eine viel geringere Spannung herrscht, als in dem Cylinder, so strömen die Dämpfe durch ihre eigene Spannkraft sehr lebhaft aus dem Cylinder in den Condensator hinein.

Fig. 365.



Wenn die Ventile *G* und *K* offen sind, das Ventil *H* aber geschlossen ist, so strömt der Dampf durch die Ventilöffnung

G und die Oeffnung *C* in den oberen Theil des Cylinders *B* ein und drückt auf den Kolben *A* von oben nach unten. Da gleichzeitig das Ventil *K* offen ist, so kann der unterhalb des Kolbens befindliche Dampf durch die Oeffnung *D* und das Ventil *K* in das zu dem Condensator führende Rohr *F* gelangen, und erfährt also bei seinem Eintritte in den Condensator in Folge der sofort eintretenden Condensation eine bedeutende Abnahme in seiner Spannkraft. Der Druck des Dampfes ist daher oberhalb des Kolbens grösser als unterhalb desselben; ist der Unterschied zwischen diesen beiden Druckkräften so gross, dass er im Stande ist, die Widerstände der Bewegung zu überwinden, so bewegt sich der Kolben in der Richtung von oben nach unten. Sobald der Kolben seinen tiefsten Stand im Cylinder erreicht hat, schliesst man die Ventile *G*, *K* und öffnet das Ventil *H*, wodurch bewirkt wird, dass die Theile des Cylinders auf beiden Seiten des Kolbens mit einander in Verbindung treten und sowohl von dem Dampfkessel als auch von dem Condensator abgesperrt sind. Der Kolben erleidet jetzt auf beiden Seiten einen gleichen Druck, und da das Pumpengestänge das Uebergewicht hat über das Gewicht und die Reibung des Kolbens, so wird dieser, wie bei der Newcomen'schen Maschine, in die Höhe gezogen. Wenn der Kolben seinen höchsten Stand erreicht hat, werden die Ventile *G* und *K* wieder geöffnet, *H* dagegen geschlossen und der Niedergang des Kolbens von Neuem bewirkt. Die Ventile werden je nach dem Zwecke, den sie zu erfüllen haben, besonders benannt; *G* heisst das Einlassventil, *H* das Gleichgewichtsventil, *K* das Auslassventil. An dem Condensator befindet sich noch ein viertes Ventil, welches sich mit dem Auslassventil *K* gleichzeitig öffnet und schliesst, und das dazu dient, behufs der Condensation des Dampfes einen Strahl kaltes Wasser in den Condensator einzuspritzen.

240 **Der Condensator** oder der Behälter, in welchem der Dampf durch das Einspritzen von kaltem Wasser condensirt wird, ist eine der wichtigsten Erfindungen Watt's. Bei der Maschine von Newcomen geschah, wie wir in §. 237 gesehen haben, bei jedem Niedergange des Kolbens die Condensation des Dampfes in dem Cylinder selbst; es ist aber klar, dass durch das Einspritzen von kaltem Wasser die Cylinderwände sich bedeutend abkühlen mussten. Wenn darauf der Kolben wieder gehoben werden sollte und zu diesem Zwecke der Dampf in den

Cylinder eingeführt wurde, so schlug zuerst ein beträchtlicher Theil des Dampfes durch die Berührung mit den kalten Cylinderwänden zu Wasser nieder, und erst nach längerer Zeit, wenn die Wände sich wieder so weit erhitzt hatten, dass der Dampf nicht mehr condensirt wurde, konnte dieser die Spannung behalten, die zur Herstellung des Gleichgewichtes zwischen dem Dampf- und dem Luftdrucke und zur Hebung des Kolbens erforderlich war. Man sieht leicht ein, dass die starke Abkühlung des Cylinders und die nachfolgende Condensation einer beträchtlichen Dampfmenge mit einem grossen Verlust an Arbeit verbunden war. Da bei der Watt'schen Maschine die Condensation des Dampfes nicht im Cylinder selbst, sondern in einem vom Cylinder getrennten besonderen Behälter erfolgt, so wird der Cylinder auch nicht abgekühlt und daher eine bedeutende Menge Dampf, also auch eine entsprechende Quantität Brennmaterial gespart.

Die Anwendung des Dampfes anstatt der atmosphärischen Luft, um den Niedergang des Kolbens zu bewirken, ist ebenfalls mit grossem Vortheil verbunden. Bei der atmosphärischen Maschine musste man, um einigermaassen grosse Leistungen zu erzielen, die Kolbenfläche sehr gross machen; bei der so eben beschriebenen Hochdruckmaschine von Watt konnte man denselben Effect mit einem viel kleineren Kolben erzielen, wenn man nur die Spannung des Dampfes angemessen erhöhte.

Die einfach wirkenden Watt'schen Maschinen sind zwar noch hier und da im Gebrauch, allein wir müssen uns hier darauf beschränken, nur das Wesentlichste ihrer Einrichtung anzudeuten und können auf die Einzelheiten ihrer Construction nicht näher eingehen. Ausführlicher werden wir dagegen die einfach wirkenden Maschinen beschreiben, welche gegenwärtig als Wasserhaltungsmaschinen für die Bergwerke sehr häufig in Cornwall (England) gebaut werden, und die im Wesentlichen nichts anderes sind, als verbesserte einfach wirkende Watt'sche Maschinen. Bevor wir jedoch hierzu übergehen, müssen wir vorher mittheilen, was man unter der Expansion des Dampfes versteht.

Die Expansion des Dampfes. Wir haben bereits gesagt, 241
dass in der Watt'schen Maschine, Fig. 365, das Einlassventil *G* während der ganzen Zeit, wo der Kolben niedergeht, offen bleibt. Während dieser Zeit strömt der Dampf aus dem Kessel mit vollem Drucke in den Cylinder, während gleichzeitig

im Kessel so viel Wasser in Dampf verwandelt wird, als zum Ersatze des abströmenden Dampfes erforderlich ist; der Druck des Dampfes auf die obere Seite des Kolbens ist daher stets derselbe. Nehmen wir dagegen einmal an, dass das Einlassventil *G* nur während eines Theiles des Kolbenniederganges offen bleibe, und der Zufluss des Dampfes zu dem Cylinder abgesperrt werde, nachdem der Kolben erst einen Theil seines Niederganges durchlaufen hat. In diesem Falle wird der Dampf in Folge seiner Expansivkraft sich ausdehnen und immer noch den Kolben fortbewegen, wenn seine Spannung höher ist, als der auf der Rückseite des Kolbens wirkende Druck. Bei dieser Ausdehnung nimmt die Spannkraft des Dampfes zwar fortwährend ab, aber es lässt sich leicht einrichten, dass die Absperrung desselben gerade bei einer solchen Stellung des Kolbens eintritt, dass der Dampf am Ende des Kolbenniederganges immer noch eine etwas höhere Spannung besitzt, als diejenige ist, welche in der freien Luft oder im Condensator herrscht. Besitzt z. B. der in den Cylinder einströmende Dampf eine Spannung von $4^1/_2$ Atmosphären, und sperrt man den Zufluss desselben ab, nachdem der Kolben erst $^1/_3$ seines Laufes vollendet hat, so dehnt er sich noch während der übrigen $^2/_3$ des Kolbenlaufes aus, und nimmt schliesslich ein Volumen ein, welches 3mal so gross ist, als das anfängliche war; seine Spannkraft ist daher jetzt 3mal kleiner, als sie es beim Einströmen in den Cylinder und während des ersten Drittels des Kolbenlaufes war, das heisst, die Spannung des Dampfes ist am Ende des Kolbenlaufes nur noch $^1/_3$ von $4^1/_2 = 1^1/_2$ Atmosphären. Während des ersten Theiles des Kolbenniederganges, so lange der Dampf ungehindert aus dem Kessel in den Cylinder einströmt, sagt man, der Dampf wirke mit vollem Druck; wenn dagegen der Zufluss des Dampfes zum Cylinder abgesperrt ist und der bereits im Cylinder vorhandene Volldruckdampf sich durch seine Expansivkraft ausdehnt, so sagt man, der Dampf wirke mit Expansion. Maschinen, in denen der Dampf nur während eines Theiles des Kolbenlaufes mit vollem Druck, während des übrigen Theiles aber mit Expansion wirkt, werden Expansionsmaschinen genannt.

Um eine klare Anschauung davon zu bekommen, welcher Vortheil mit der Anwendung der Dampfexpansion verbunden ist, nehmen wir der Einfachheit wegen an, dass das Einlassventil in dem Augenblicke geschlossen, der Dampf also von dem Cylinder abgesperrt werde, wo der Kolben die Hälfte sei-

nes Laufes zurückgelegt hat. Es ist klar, dass man in diesem Falle für die erste Hälfte des Kolbenschubes nur halb so viel Dampf und daher auch nur halb so viel Brennmaterial verbraucht, als wenn der Cylinder ganz mit Dampf von vollem Druck gefüllt wird; andererseits ist aber auch die während des halben Kolbenschubes vom Dampfe geleistete Wirkung nur die Hälfte von derjenigen, welche der Füllung des ganzen Cylinders mit Volldruckdampf entspricht. Während der zweiten Hälfte des Kolbenlaufes aber wird gar kein neuer Dampf mehr gebraucht, da der Zufluss desselben ja abgesperrt ist, wohl aber leistet der im Cylinder vorhandene Dampf während seiner Expansion noch eine gewisse Arbeit, welche als reiner durch die Expansion erzielter Gewinn zu betrachten ist. Die Absperrung des Dampfes vor vollendetem Kolbenlaufe hat also die mechanische Arbeit desselben in geringerem Grade als den Verbrauch an Dampf und Brennmaterial verkleinert, oder, was auf dasselbe hinauskommt, es wird bei einer gegebenen Quantität des Brennmaterials durch die Expansion des Dampfes an mechanischer Arbeit gewonnen.

Ein Beispiel wird dieses noch klarer zeigen. Nehmen wir an, der Kolben habe einen Querschnitt von p Quadratfuss und einen Hub von 5 Fuss; der Dampf ströme mit 2 Atmosphären Spannung während des ganzen Kolbenlaufes stets mit vollem Druck in den Cylinder, so ist offenbar der Druck auf den Kolben $2 . 14 . 144 . p = 4032 . p$ Pfund, und die während des Kolbenlaufes geleistete Arbeit des Dampfes $4032 . p . 5 = 20160 . p$ Fusspfund. Lassen wir nun statt des Dampfes von 2 Atmosphären Dampf von 4 Atmosphären in den Cylinder strömen, sperren aber den Dampf nach halbem Kolbenlaufe ab, und lassen denselben während der anderen Hälfte des Kolbenlaufes durch Expansion wirken, so hat der eingesperrte Dampf von 4 Atmosphären nach vollendetem Kolbenlaufe sich auf das doppelte Volumen ausgedehnt, daher nur noch eine Spannung von 2 Atmosphären behalten. In beiden Fällen ist also am Ende des Kolbenlaufes der Cylinder mit Dampf von 2 Atmosphären angefüllt, folglich der Verbrauch an Dampf und Brennmaterial für jeden Kolbenlauf gleich gross. Berechnen wir nun zuerst die vom Dampfe während der ersten Hälfte des Kolbenlaufes geleistete Arbeit, so stellt sich zunächst der Druck des Dampfes auf $4 . 14 . 144 . p = 8064 . p$ Pfund, folglich die Arbeit selbst ebenfalls auf $8064 . p . {}^5/_2 = 20160 . p$ Fusspfund; hierzu kommt nun noch die ganze Arbeit, welche der Dampf während

der zweiten Hälfte des Kolbenlaufes, wo er durch Expansion wirkte, geleistet hat. Es ist also klar, dass bei gleichem Verbrauche an Dampf die mechanische Arbeit des Dampfes bei jedem Kolbenlaufe grösser ist, wenn er mit Expansion wirkt, als wenn er fortwährend mit vollem Druck in den Cylinder einströmt.

Wenn wir so eben die Arbeit nicht näher berechnet haben, welche der Dampf während seiner Expansion zu leisten im Stande ist, so rührt dieses daher, dass diese Rechnung, wie wir später sehen werden, nicht ganz einfach ist, weil der eine Factor der mechanischen Arbeit, der Druck des Dampfes während der Expansion, veränderlich ist und vom Augenblicke der Dampfabsperrung an fortwährend abnimmt. Um diese Rechnung ausführen zu können, muss man sich die ganze Dauer der Expansionswirkung in sehr viele kleine Zeittheile eingetheilt denken, so dass man annehmen kann, dass der Dampfdruck während eines solchen kleinen Zeittheilchens constant bleibe. Multiplicirt man dann den einem jeden Zeittheilchen entsprechenden Druck des Dampfes gegen den Kolben mit dem in dieser Zeit vom Kolben durchlaufenen Wege, und addirt man dann alle diese Producte, so erhält man die während der Expansionswirkung vom Dampfe geleistete Arbeit.

Die folgende Tabelle enthält die verschiedenen Arbeitsleistungen, welche eine bestimmte Dampfmenge während eines ganzen Kolbenlaufes ausführen kann, wenn der Dampf sich von dem Augenblicke an expandirt, wo der Kolben bereits $^9/_{10}$, $^8/_{10}$, $^7/_{10}$... seines Laufes zurückgelegt hat. Als Einheit der Arbeit ist diejenige angenommen, welche dieselbe Dampfmenge während eines ganzen Kolbenlaufes ausführt, wenn er ohne Expansion wirkt.

Bruchtheil des Kolbenlaufes, wo die Expansion beginnt.	Geleistete Arbeit.	Bruchtheil des Kolbenlaufes, wo die Expansion beginnt.	Geleistete Arbeit.
1	1,000	0,5	1,693
0,9	1,105	0,4	1,946
0,8	1,223	0,3	2,204
0,7	1,357	0,2	2,609
0,6	1,509	0,1	3,302

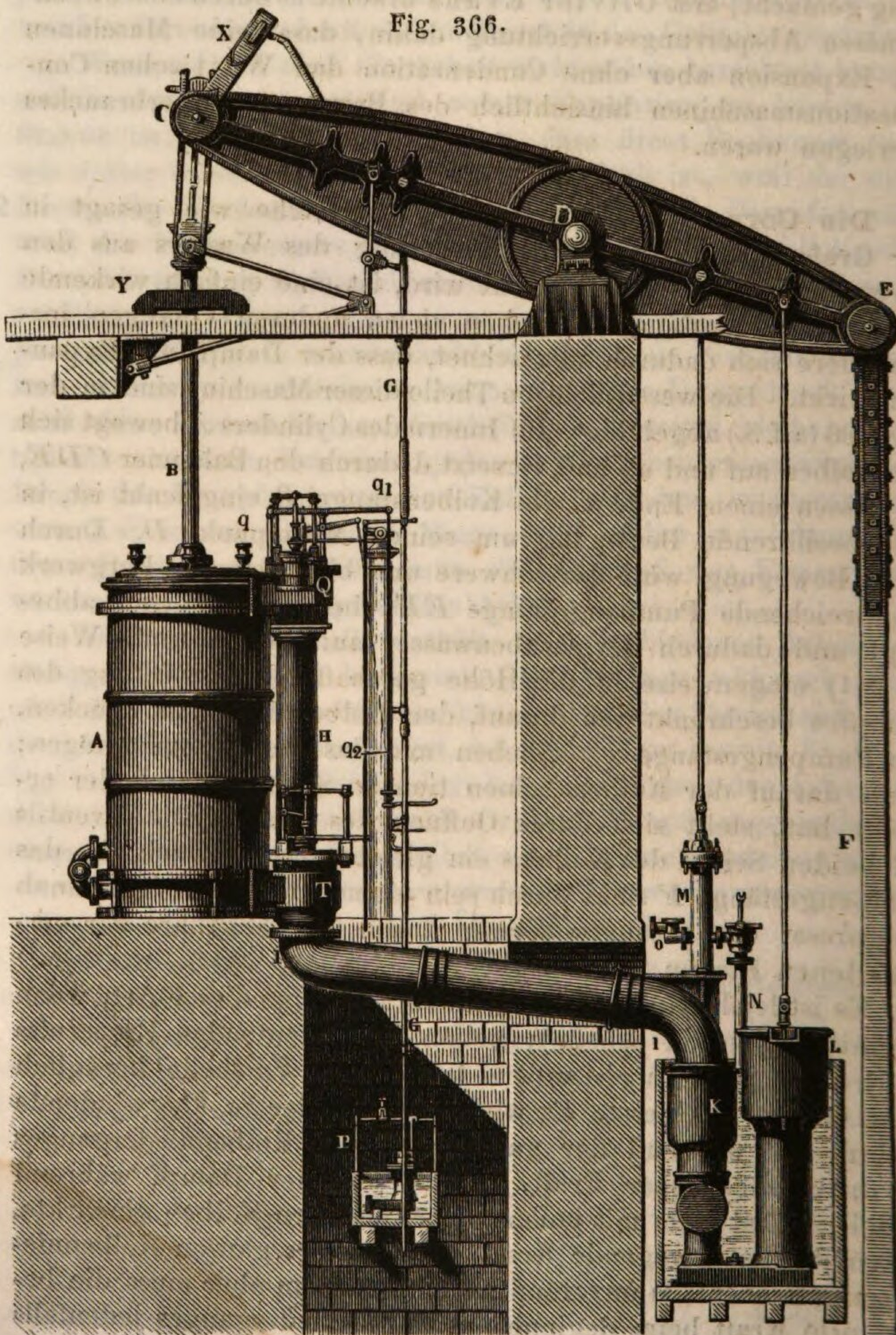
Der Gedanke, den Dampf durch Expansion wirken zu lassen, gehört Watt an, doch hat er von diesem Principe bei den von ihm gebauten Maschinen nur eine sehr beschränkte Anwendung gemacht; erst Olivier Evans brachte es durch eine zweckgemässe Absperrungsvorrichtung dahin, dass seine Maschinen mit Expansion aber ohne Condensation den Watt'schen Condensationsmaschinen hinsichtlich des Brennmaterialverbrauches überlegen waren.

Die Cornwall-Dampfmaschine, welche wie gesagt in 242
der Grafschaft Cornwall zur Förderung des Wassers aus den Bergwerken vielfach angewandt wird, ist eine einfach wirkende Watt'sche Maschine, die neben vielen anderen Vorzügen insbesondere sich dadurch auszeichnet, dass der Dampf mit Expansion wirkt. Die wesentlichsten Theile dieser Maschine sind in der Fig. 366 (a.f.S.) abgebildet. Im Innern des Cylinders *A* bewegt sich der Kolben auf und ab und versetzt dadurch den Balancier *CDE*, an dessen einem Ende *C* die Kolbenstange *B* eingelenkt ist, in eine oscillirende Bewegung um seinen Mittelpunkt *D*. Durch diese Bewegung wird das schwere und bis unten ins Bergwerk hinabreichende Pumpengestänge *EF* ebenfalls auf- und abbewegt und dadurch das Grubenwasser auf die bekannte Weise (§. 161) etagenweise in die Höhe geschafft. Die Wirkung des Dampfes beschränkt sich darauf, den Kolben hinab zu drücken, das Pumpengestänge *F* zu heben und das Wasser aufzusaugen; wenn darauf der Kolben seinen tiefsten Stand im Cylinder erreicht hat, stellt sich durch Oeffnen des Gleichgewichtsventils auf beiden Seiten des Kolbens ein gleicher Dampfdruck ein, das Pumpengestänge *F* sinkt durch sein eigenes Uebergewicht hinab und presst das gesaugte Wasser durch die Steigröhre der verschiedenen Etagen in die Höhe.

Es ist leicht einzusehen, dass eine Maschine dieser Art, wenn sie mit Expansion arbeitet, neben der bedeutenden Ersparniss an Brennmaterial noch andere bedeutende Vortheile bezüglich ihres Ganges darbietet. Es wirkt nämlich der zu überwindende Widerstand während der ganzen Zeit des Kolbenniederganges mit unveränderlicher Kraft. Wenn nun der Dampf während derselben Zeit stets mit vollem Druck auf den Kolben einwirkte, so würde die bewegende Kraft während des ganzen Kolbenniederganges ebenfalls unveränderlich sein. Nun aber muss die bewegende Kraft beim Beginne des Kolbenniederganges jedenfalls grösser sein als der Widerstand, damit der Kolben und die übri-

gen Maschinentheile überhaupt in Bewegung gesetzt werden können; es würde also, wenn der Dampf stets mit vollem Druck einströmte, während des Kolbenniederganges ein constanter

Fig. 366.



Ueberschuss der bewegenden Kraft über die Widerstände vorhanden sein, der Kolben müsste dann nothwendig eine beschleunigte Bewegung annehmen und würde am Ende seines Laufes einen Stoss auf den unteren Boden des Cylinders ausüben. Durch die Expansionswirkung des Dampfes kann dieser Stoss gänzlich vermieden werden; wenn nämlich der Druck des Dampfes gegen den Kolben anfänglich constant bleibt und das Uebergewicht über die Widerstände hat, dann aber, nachdem der Kolben einen Theil seines Weges mit zunehmender Geschwindigkeit zurückgelegt hat, durch die Expansion des Dampfes dieser Druck nach und nach abnimmt, so wird die anfangs beschleunigte Bewegung des Kolbens später wieder verzögert und kann durch die richtige Wahl des Momentes, von wo an die Expansion beginnen soll, so vermindert werden, dass die Geschwindigkeit des Kolbens am Ende seines Niederganges fast Null ist und er ohne Stoss den Boden des Cylinders erreicht.

Zur Bewegung der drei Ventile, des Einlass-, des Gleichgewichts- und des Auslassventils, dient einerseits eine lange Stange *GG*, Steuerbaum genannt, welche mittelst dreier daran angebrachter Knaggen auf ein System von Hebeln und Sperrklinken wirkt, andererseits das Gestänge eines besonderen Pumpenmechanismus *P*, von welchem wir unten näher sprechen werden. Durch das Rohr *H*, welches seitwärts oben und unten in den Cylinder *A* einmündet, wird bei geöffnetem Gleichgewichtsventil der Dampf sowohl unter als über den Kolben eingelassen, und so dem Pumpengestänge *F* gestattet, durch sein Uebergewicht über das des Kolbens niederzugehen und den Kolben heraufzuziehen. Das Rohr *II* verbindet den unteren Theil des Cylinders mit dem Condensator *K* und führt den verbrauchten Dampf behufs seiner Condensirung in diesen Behälter ab, sobald das Auslassventil geöffnet wird. Der Condensator steht in einer mit kaltem Wasser gefüllten Cisterne, aus welcher dieses in feinen Strahlen durch eine besondere Seitenöffnung beständig in den Condensator eindringt.

Zur Seite des Condensators *K* befindet sich eine Pumpe *L*, die durch eine an den Balancier angehängte Stange in Bewegung gesetzt wird und dazu dient, um bei jedem Kolbenzuge alles im Condensator befindliche, sowohl das von aussen eingespritzte, als das aus der Condensation des Dampfes herrührende Wasser zu entfernen. Ausserdem aber saugt diese Pumpe bei jedem Hube einen grossen Theil der im Condensator vorhandenen Luft auf und wird daher die Luftpumpe genannt. Diese

Luft wird einestheils durch das kalte Injectionswasser, welches stets Luft enthält, anderentheils durch den Dampf, welcher die aus dem Kesselwasser sich entwickelnde atmosphärische Luft mechanisch mit sich fortreisst, unausgesetzt dem Condensator zugeführt. Da die Luft sich nicht condensiren lässt, so würde sie sich im Condensator immer mehr anhäufen und in Folge davon eine immer grössere Dichtigkeit und Spannung annehmen, wenn sie eben nicht durch die Luftpumpe beständig entfernt würde. Hätte aber die Luft im Condensator einmal ihre gewöhnliche Dichtigkeit und die Spannung einer Atmosphäre erreicht, so würde die Condensation des Dampfes nichts mehr nützen, da dann das Resultat dasselbe wäre, ob der verbrauchte Dampf in den Condensator oder in die freie Luft geleitet würde; der Kolben hätte dann bei seinem Niedergange stets den Gegendruck einer vollen Atmosphäre zu erleiden. Durch die beständige Beseitigung der Luft und durch die Condensation des Dampfes geht die Spannung im Condensator nicht über $^1/_{10}$ Atmosphäre hinaus.

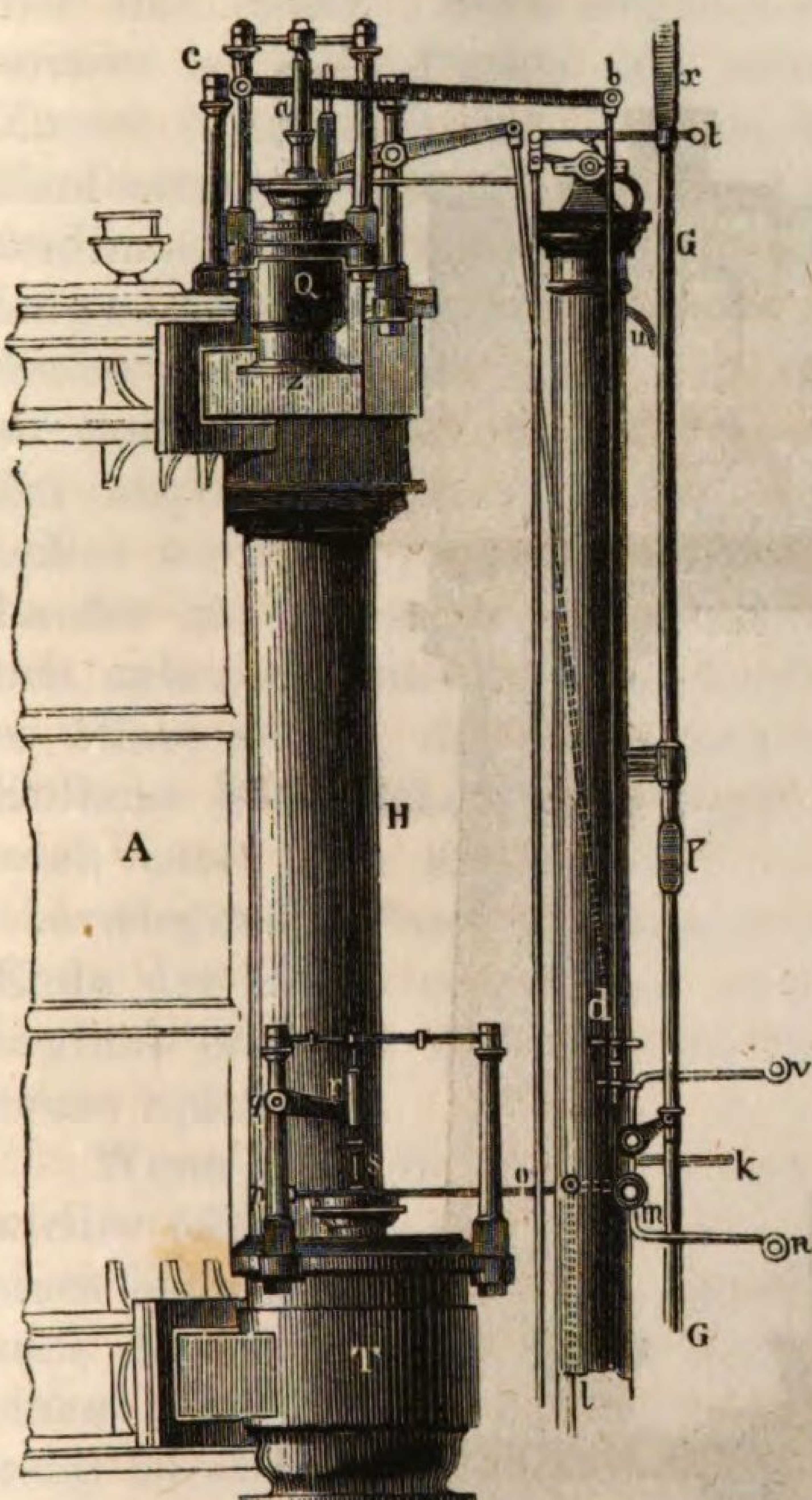
Ausser der Luftpumpe ist noch eine zweite Pumpe *M* vorhanden, welche einen Theil des von der Luftpumpe aus dem Condensator weggeschafften warmen Wassers durch das Rohr *N* aufsaugt und durch ein bei *O* sich anschliessendes Rohr in den Dampfkessel pumpt, um darin dasjenige Wasser, welches in Dampf verwandelt wird, beständig zu ersetzen. Die Pumpe *M* wird daher auch Speisepumpe genannt und hat die Einrichtung einer gewöhnlichen Saug- und Druckpumpe.

Eine dritte Pumpe, die in der Zeichnung weggelassen ist, wird ebenfalls durch den Balancier bewegt und hat den Zweck, das kalte Wasser, welches zur Condensation des Dampfes aus der Cisterne in den Condensator gespritzt wird, herbeizuschaffen und die Cisterne stets gefüllt zu halten.

243 Ausser den genannten drei Ventilen befindet sich in dem oberen Theile *Q*, Fig. 367, des Steuercylinders *H* noch ein viertes Ventil, das Regulirventil, welches den Zweck hat, je nach der Grösse des zu überwindenden Widerstandes mehr oder weniger Dampf in den Treibcylinder *A* einzulassen, und das daher bei dem Anlassen der Maschine eine bestimmte Stellung erhält, während des Ganges der Maschine aber seine Stellung unverändert beibehält. Je nachdem dieses Ventil hoch oder tief gestellt wird, geht der Kolben im Cylinder *A* schnell oder langsam abwärts. Um das Ventil leicht einstellen zu können, ist der Kopf desselben an einer durch eine Stopfbüchse hindurch-

gehenden Stange *a*, und diese selbst an einem um *c* drehbaren Hebel *cb* befestigt. Von dem Endpunkte *b* dieses Hebels reicht dann eine Zugstange *d* bis in den Bereich des Maschinenwärters hinab, wodurch dieser es in der Gewalt hat, vermittelst des Hebels *bc* und der Stange *a* das in *Q* eingeschlossene Ventil so hoch oder so tief zu stellen, als es für den richtigen Gang der Maschine erforderlich ist. In anderen Maschinen dieser Art wird das Regulirventil durch eine in ähnlicher Art zu bewegende Regulirklappe *D*, Fig. 368 (a. f. S.), ersetzt. Die Lage der drei übrigen Ventile ist aus der Fig. 368 zu ersehen. Der in den Figuren 366 und 367 mit *H* bezeichnete Steuercylinder ist hier mit *F*, *F* bezeichnet und besteht, wie man sieht, aus zwei parallel hintereinander gestellten Röhren *F*, *F*, die oben und unten mit einander in Verbindung treten können und an diesen Stellen mit den betreffenden Ventilen *a*, *b*, *c* versehen sind. Von den Stellen E, E_1 gehen die Canäle aus, welche die Steuerung mit dem oberen und unteren Theile des Treibcylinders *A*, (Fig. 367), verbinden; *a* ist das Einlass-, *b* das Auslass-, *c* das Gleichgewichtsventil.

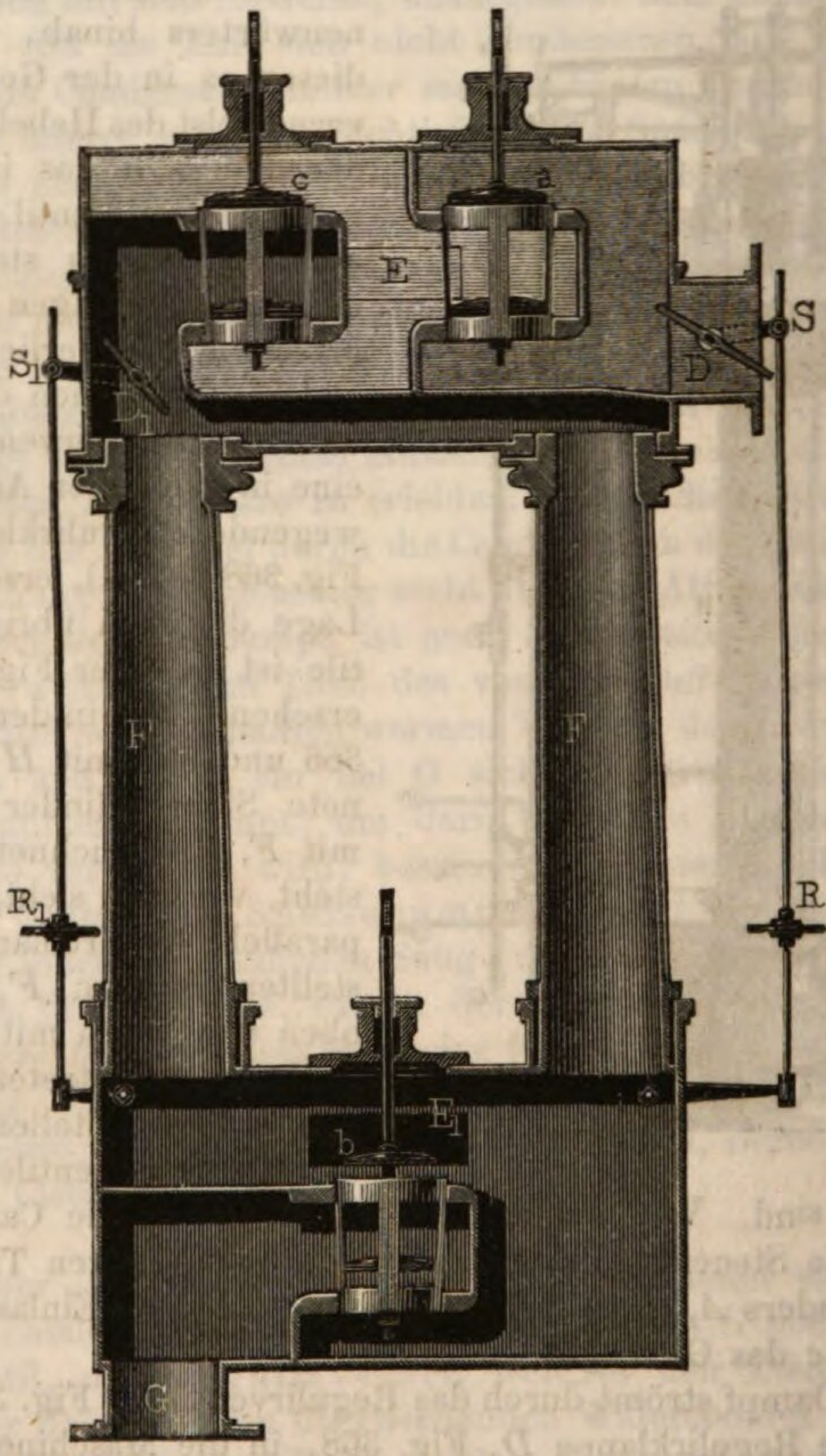
Fig. 367.



Der Dampf strömt durch das Regulirventil *Q*, Fig. 367, oder durch die Regulirklappe *D*, Fig. 368, in die Maschine ein und gelangt von da durch das geöffnete Einlassventil *a* und den Kanal *E* in den oberen Theil des Treibcylinders *A*. Nachdem er den Kolben in dem Cylinder herabgedrückt hat, öffnet sich das Gleichgewichtsventil *c*, welches sich mit *a* in derselben Kammer befindet, damit der über dem Kolben befindliche Dampf bei *E* wieder austreten, und durch *c* und die Rohre *F*, *F* nach

E_1 und von hier in den Cylinder *A* unter dem Kolben gelangen könne; da hierbei auf beiden Seiten des Kolbens beinahe ein

Fig. 368.



und derselbe Dampfdruck vorhanden ist, so wird der Kolben durch das Uebergewicht *F*, Fig. 366, des Pumpengestänges in die Höhe gehoben. Endlich öffnet sich in dem Augenblicke, wo der Niedergang des Kolbens beginnen soll, das Auslassventil *b*, damit der verbrauchte Dampf, der sich unterhalb des gehobenen Kolbens befindet, durch *G* in das zum Condensator *K*,

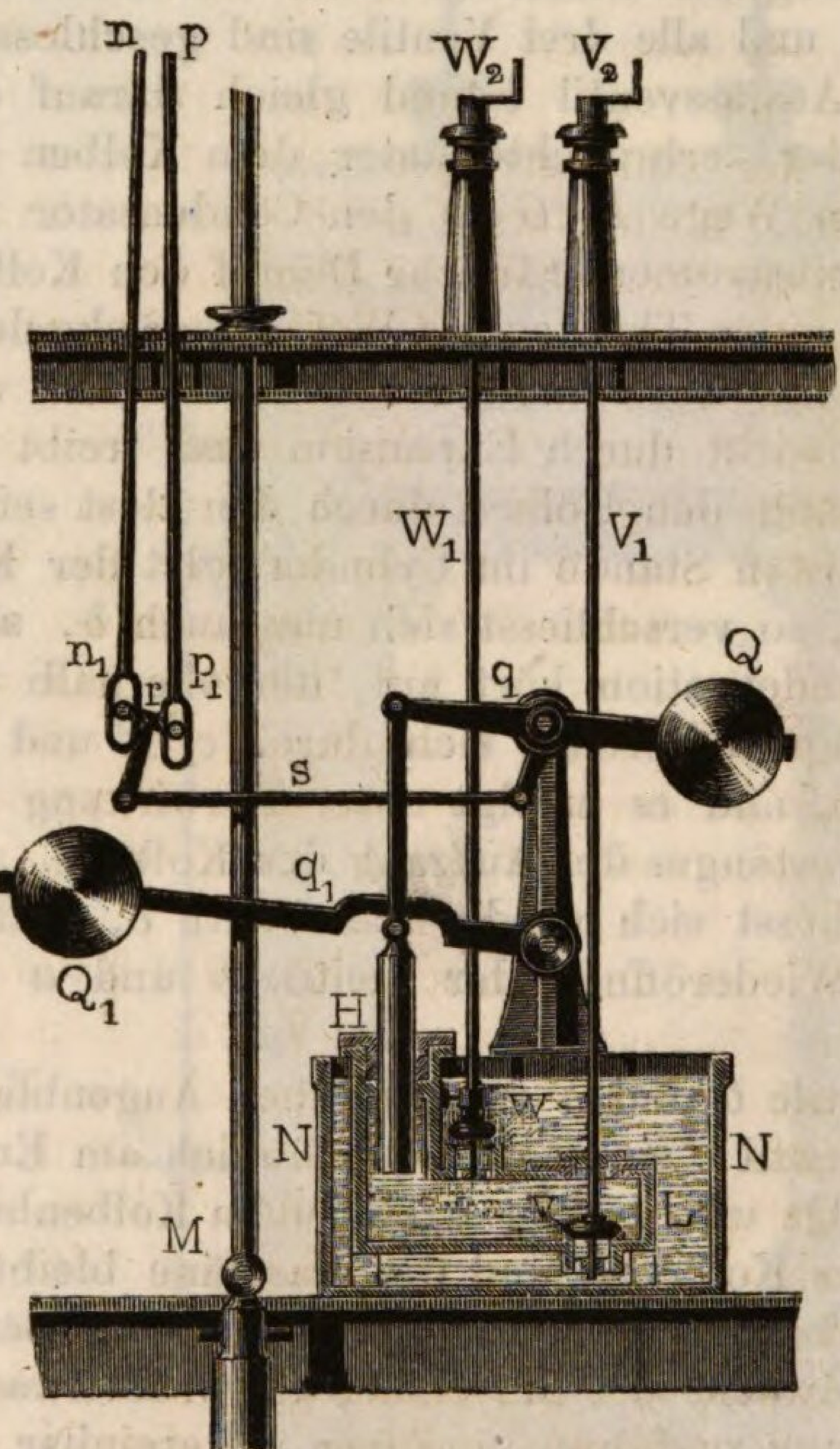
Fig. 366, führende Rohr *II* gelangen und von da zum Condensator geführt werden könne.

Das Spiel dieser Ventile muss nun in folgender Ordnung vor sich gehen. Beim Beginne desselben steht der Kolben in seinem höchsten Punkte und alle drei Ventile sind geschlossen. Zuerst öffnet sich das Auslassventil *b* und gleich darauf das Einlassventil *a*, damit der verbrauchte unter dem Kolben befindliche Dampf auf dem Wege E_1 G in den Condensator gelange und der durch *a* einströmende frische Dampf den Kolben niedertreibe. Hat dieser einen Theil seines Weges zurückgelegt, so verschliesst sich *a*; das Zuströmen des Dampfes hört auf, der abgesperrte Dampf wirkt durch Expansion und treibt bei seiner weiteren Ausdehnung den Kolben durch den Rest seines Laufes bis zu seinem tiefsten Stande im Cylinder. Ist der Kolben unten angekommen, so verschliesst sich nun auch *b*, aber es öffnet sich *c*; die Condensation hört auf, der oberhalb des Kolbens befindliche Dampf verbreitet sich durch *c*, E und E_1 auch unter dem Kolben, und es erfolgt unter Einwirkung des überwiegenden Pumpengestänges der Aufgang des Kolbens. Am Ende des Hubes verschliesst sich wieder das Ventil *c*, und es beginnt erst mit dem Wiederöffnen der Ventile *b* und *a* ein neues Spiel.

Wenn man die Ventile *b* und *a* in demselben Augenblicke wieder öffnet, wo das Ventil *c* sich schliesst, nämlich am Ende eines jedes Hubes, so folgt unmittelbar nach jedem Kolbenhube auch der Niedergang des Kolbens, und die Maschine bleibt in einem stetigen, ununterbrochenen Gange. Eine solche Bewegung ist aber mit dem Zwecke der Maschine, die Grubenwasser zu bewältigen und zu Tage zu führen, insofern unvereinbar, als diese Wasser nur sehr langsam durch die Gesteinsspalten sich ansammeln und daher auch nur in dem Maasse die Bewegung des Pumpenwerkes beanspruchen, als sie den tiefer gelegenen Theilen des Bergwerks zufliessen und sich daselbst ansammeln. Es ist daher nicht vortheilhaft, die Dampfmaschine in einem regelmässigen, ununterbrochenen Gange zu erhalten, vielmehr empfiehlt es sich, nach jedem Hin- und Hergange des Kolbens die Maschine eine kürzere oder längere Zeit still zu halten, und so nach jedem Kolbenspiele eine beliebig lange Pause in dem Gange der Maschine eintreten zu lassen. Um dieses zu erreichen, bewerkstelligt man das Oeffnen des Auslass- und des Einlassventiles nicht durch die Dampfmaschine selbst, sondern durch einen besonderen Mechanismus *P*, Fig. 366, den man den Ka-

tarakt nennt. Man hat den Katarakten verschiedene Einrichtungen gegeben; im Wesentlichen bestehen sie, wie Fig. 369 zeigt, aus einer Saug- und Druckpumpe HL mit dem Taucherkolben H, dem Saugventil V und dem Druckventil W. Der Hub dieser Ventile lässt sich durch Umdrehung der Kurbeln V_2, W_2, welche auf die Stangen V_1, W_1 wirken, beliebig einschränken; je weniger sie sich ausschieben lassen, um so mehr Zeit ist erforderlich, damit das Wasser aus dem Kasten NN bei V in den Pumpenkörper eindringen, und bei W aus demselben wieder austreten könne. Der Kolben H wird auf- und abbewegt durch die beiden Gewichte Q und Q_1 vermittelst der Hebel q und q_1. Der Hebel q wirkt ausserdem noch

Fig. 369.



vermittelst einer horizontalen Schubstange s auf einen anderen dreiarmigen Hebel r, dessen beide Arme in die scheerenförmig auslaufenden Enden n_1 und p_1 zweier, auf das Ein- und Auslassventil a und b, wie auf das Gleichgewichtsventil c einwirkender Stangen n und p eingreifen. Der Katarakt tritt nun auf folgende Weise in Wirksamkeit.

Wenn der Kolben im Treibcylinder in die Höhe geht, ergreift eine auf dem Steuerbaume $G\,G$, Fig. 366, festsitzende Knagge M, Fig. 369, den Hebel q_1 von unten und hebt dadurch das Gewicht Q_1 in die Höhe. Sofort tritt das Gewicht Q in Wirksamkeit und hebt den nunmehr von seiner Belastung befreiten Kolben H in die Höhe; der Hub dieses Kolbens erfolgt

aber offenbar um so langsamer, je enger die Ventilöffnung V ist, durch welche das Wasser aus dem Kasten NN in die Pumpe nachdringen muss. Durch das Niedersinken des Gewichtes Q wird zugleich die Stange s nach links geschoben, die Stange $n_1 n$ gehoben und dadurch vermittelst eines ziemlich verwickelten Sperrklinkenmechanismus mit dem gleichzeitigen Oeffnen des Ein- und Auslassventils der Anfang eines neuen Spieles der Dampfmaschine eingeleitet. Wenn darauf der Kolben des Treibcylinders und damit auch der Steuerbaum $G\,G$ niedergeht, geht die Knagge M des letzteren unter q_1 wieder herab, worauf das Gewicht Q_1 frei wird und bei seinem Niedersinken anfängt, vermittelst des Hebels q_1 den Kolben H wieder herabzudrücken. Auch hier erfolgt der Niedergang des Kolbens H um so langsamer, je enger die Ventilöffnung W ist, aus welcher das Wasser des Pumpenkörpers in den Kasten NN zurückgepresst werden muss. Während dieser Zeit macht der Hebelmechanismus $s\,r$ seine rückgängige Bewegung, die Stange $p_1 p$ wird in die Höhe gehoben und hierdurch vermittelst des Sperrklinkensystems das Gleichgewichtsventil c geöffnet und der Aufgang des Dampfkolbens ermöglicht.

Da die Zeit für das Auf- und Niedergehen des Kataraktkolbens H von der Weite des Ausschubes der Ventile V und W abhängt, und dieser Ausschub durch die Stellvorrichtung $V_2 V_1$, $W_2 W_1$ in beliebige Gränzen eingeschränkt werden kann, andererseits aber auch das Oeffnen und Schliessen der Einlass-, Auslass- und Gleichgewichtsventile, und damit zugleich die Zeit des Auf- und Niedergehens des Dampfkolbens von der Bewegung des Kataraktkolbens abhängig ist, so kann man durch eine richtige Stellung der Kurbeln V_2, W_2 sowohl die Pause vor dem Niedergange, als auch die vor dem Aufgange des Dampfkolbens, überhaupt also die Zeit eines ganzen Kolbenspieles beliebig verlängern oder verkürzen.

Das Glockenventil. Die in der Cornwallmaschine vor- 244
kommenden Ventile haben eine eigenthümliche Einrichtung, welche mehrere Vorzüge in sich vereinigt. Dieselben lassen sich nämlich nicht nur sehr leicht und ohne grossen Kraftaufwand öffnen und schliessen, sondern sie geben auch bei einem geringen Ausschube grosse Querschnittsöffnungen für die Passage des Dampfes. Die Figuren 370 I. und II. und 371 (a. f. S.) zeigen die Einrichtung eines solchen Glockenventils. Die Ventilringe $b\,b$ und $d\,d$ sind fest; ersterer ist auf der Aussenseite, letzterer

auf der inneren Seite konisch abgedreht. Der Ring *b b* umschliesst einen Teller *G*, von welchem 4 bis 6 Flügel *f*, *f* . . .

Fig. 370.

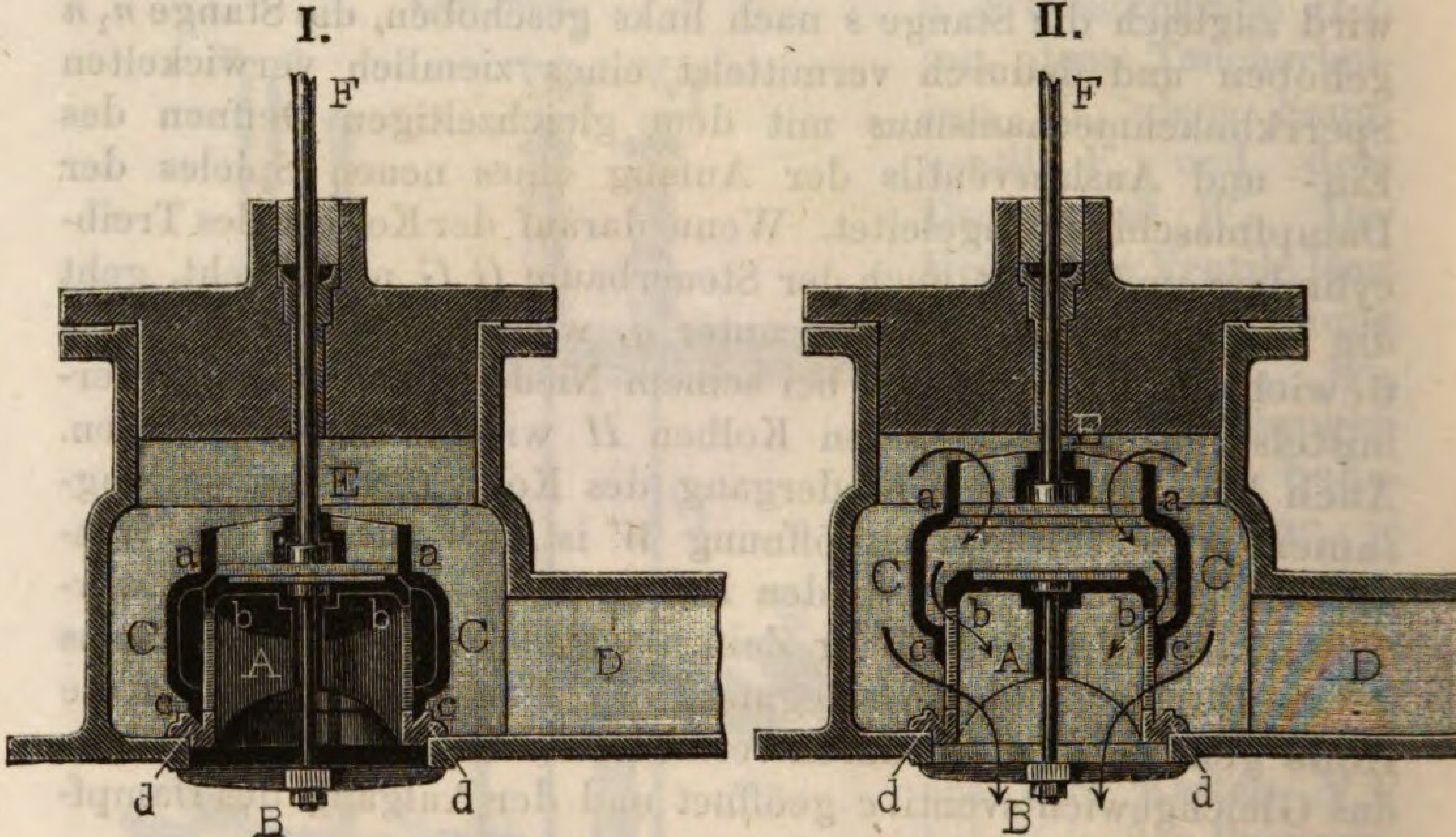
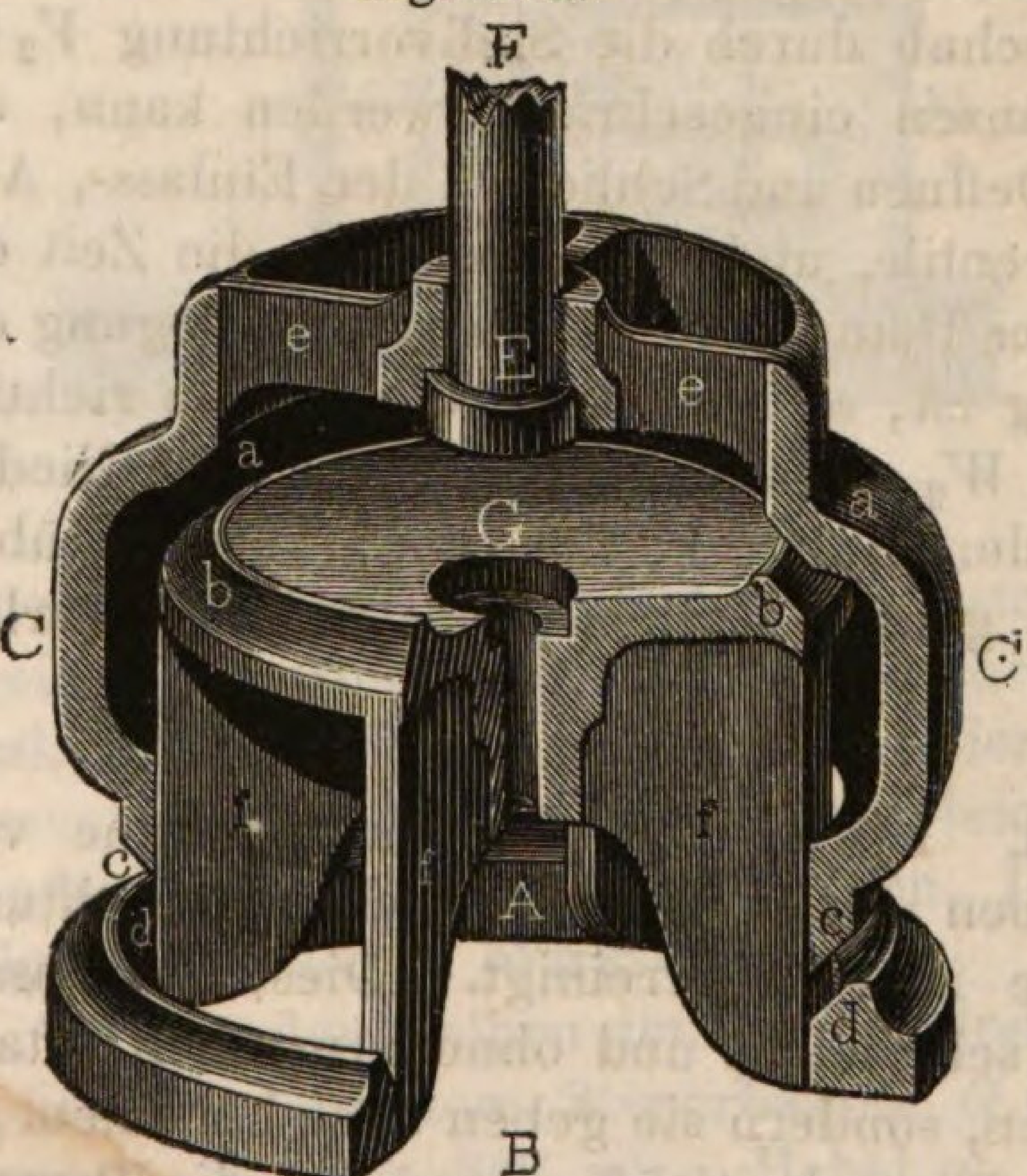


Fig. 371.



nach dem inneren Rande des Ringes *dd* herablaufen. Die Flügel bilden mit dem Teller *G* und den Ventilringen *bb*, *dd* ein feststehendes Sytem, über welches sich vermittelst der Stange *EF*, die an den Flügeln *f*, *f* . . . ihre Führung hat, eine G l o c k e *CC* auf- und abschieben lässt. Durch die Arme *e*, *e* wird der Umfang der Glocke mit der Führungsstange *EF* verbunden. An der inneren und oberen Seite *a a*, wie an der äusseren und unteren Seite *cc* ist der Umfang der Glocke ebenfalls konisch abgeschliffen, so dass die Kegelflächen *cc* der

Glocke genau auf den entsprechenden Kegelrändern *b b* und *d d* des feststehenden Flügelsystems passen.

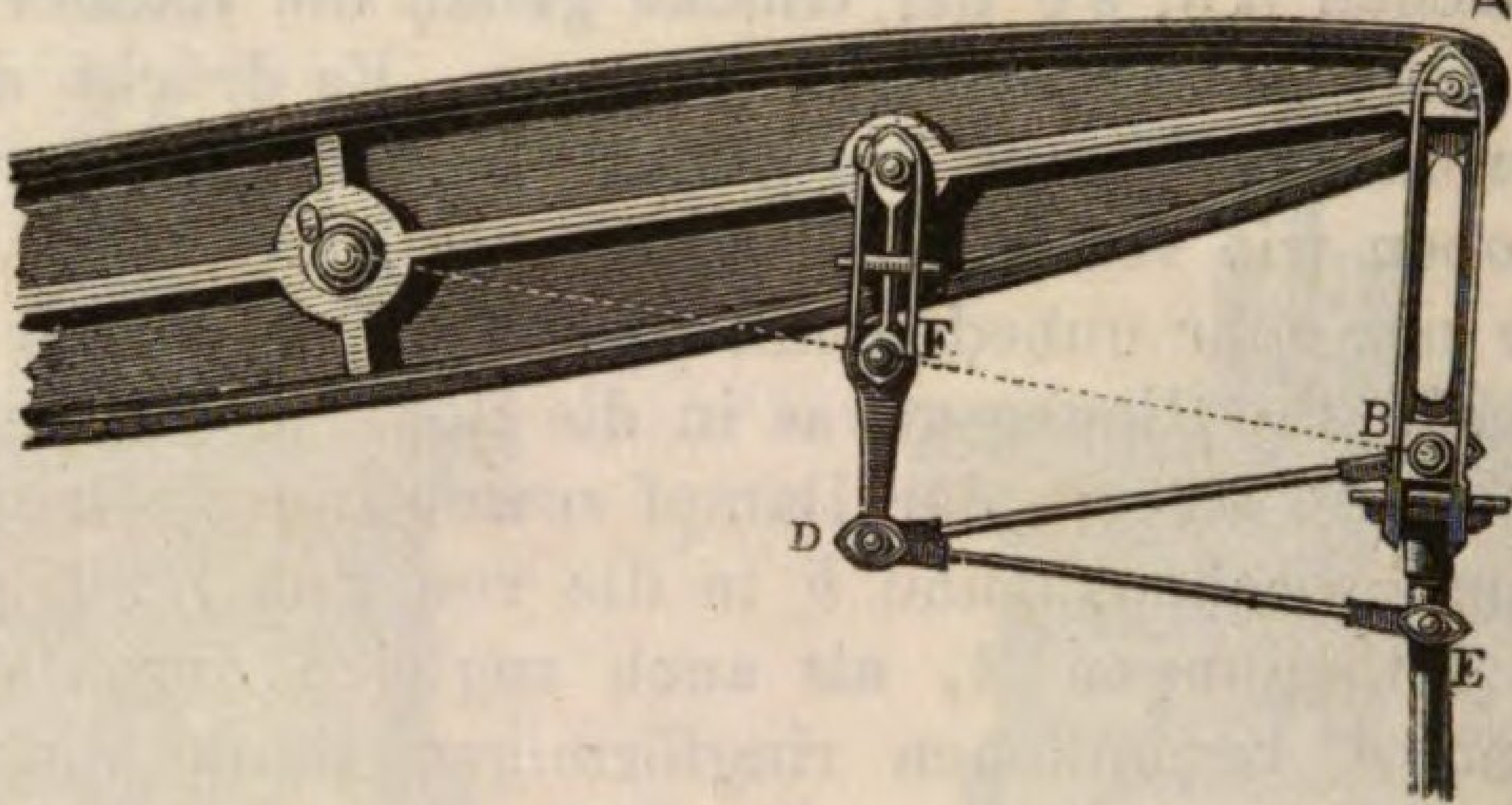
Ist das Ventil, wie in Fig. 370 I., geschlossen, so decken die Kegelflächen *a a*, *c c* der Glocke genau die Ränder *b b* des Tellers *G* und *d d* des unteren Kranzes. Es drückt dann der bei *D* zuströmende Dampf das ganze Glockenventil fast ebenso stark von oben wie von unten, so dass die Kraft zum Aufziehen der Glocke nur sehr unbedeutend ist. Zieht man aber mittelst der Stange *EF* die Glocke etwas in die Höhe, wie in Fig. 370 II. und Fig. 371, so strömt der Dampf sowohl durch den ringförmigen Raum zwischen *a* und *b* in die von den Flügeln *f*, *f* ... gebildeten Abtheilungen *A*, als auch zugleich durch den zwischen *c* und *d* befindlichen ringförmigen Raum direct nach dem Punkte *B* hin ab, wie es durch die beigesetzten Pfeile angedeutet ist.

Das Watt'sche Parallelogramm. Um die Bewegung 245
der Kolbenstange auf den Balancier zu übertragen, brachte Watt anfänglich auf dem Balancierende ein Zahnkranzsegment an, in welches er eine am Ende der Kolbenstange eingelenkte Zahnstange eingreifen liess. Es gelang zwar hierdurch, die geradlinige Bewegung der Kolbenstange auf die kreisförmige des Balancierendes zu übertragen, allein das Ineinandergreifen der Zähne verursachte starke Erschütterungen des Kolbens und wirkte auf den Gang der Maschine nachtheilig ein. Im Jahre 1784 erfand Watt zu demselben Zwecke einen anderen höchst sinnreichen Mechanismus, der sich eben so sehr durch seine Einfachheit, als durch seine Präcision und Solidität auszeichnet, und nach seinem Erfinder das Watt'sche Parallelogramm genannt wird.

An den Punkten *A* und *C*, Fig. 372 (a. f. S.), des Balanciers sind zwei gleich lange Stangen *AB*, *CD* drehbar aufgehängt und durch eine untere Stange $DB = CA$ so durch Gelenke mit einander verbunden, dass das Ganze ein in seinen Eckpunkten verschiebbares Parallelogramm *ABCD* bildet. Bei den hin- und hergehenden Schwingungen des Balanciers um den Drehpunkt *O* beschreibt das Ende *A* einen Kreisbogen um diesen Mittelpunkt *O*. Der Punkt *B* würde ebenfalls einen solchen Kreisbogen beschreiben, wenn er mit dem Balancier fest verbunden wäre; da dieses jedoch nicht der Fall ist, so kann man, während *A* einen Kreisbogen beschreibt, den Punkt *B* derartig verschieben, dass er fortwährend in einer und derselben verti-

calen Linie bleibt. Wenn es gelingt, diese Verschiebung des Punktes *B* durch die Glieder des Parallelogramms selbst be-

Fig. 372.



wirken zu lassen, so braucht man nur den Endpunkt der verticalen Kolbenstange *E* gelenkartig mit *B* zu verbinden, um sicher zu sein, dass die Kolbenstange stets vertical auf- und abgeht und sich weder links noch rechts durchbiegt, während der Balancier seine Oscillationen um die Drehungsachse *O* macht. Watt machte nun die Beobachtung, dass, wenn der Punkt *B* genöthigt wird, während einer Oscillation des Balanciers in einer verticalen Linie zu bleiben, der Punkt *D* sehr nahe einen Kreisbogen durchläuft, und zog hieraus den richtigen Schluss, dass, wenn umgekehrt der Punkt *D* genöthigt wird, bei der Bewegung des Balanciers einen Kreisbogen zu beschreiben, der Punkt *B* sehr nahe eine verticale Linie durchlaufen muss. Nun ist aber nichts leichter, als den Punkt *D* zu nöthigen, dass er sich in einem Kreisbogen bewege; man braucht ihn zu diesem Ende nur durch eine Gelenkstange *DE* mit dem festen Mittelpunkte *E* dieses Kreises zu verbinden. Der Punkt *E* scheint in der Figur auf der Kolbenstange zu sitzen, dieses ist jedoch nicht der Fall, vielmehr befindet sich die Gelenkstange *DE* vor der Kolbenstange und der Punkt *E* bleibt unverändert fest stehen, während die Kolbenstange auf- und niedergeht. In der That sieht man in der Fig. 366 das Parallelogramm in einer anderen Stellung, in welcher der feste Schwingungspunkt *E* weit von der Kolbenstange entfernt ist.

Durch diese Anordnung bleibt die Ecke *D* des Parallelogramms in allen Lagen des Balanciers in einem gleichen Abstande von dem Punkte *E*; das Parallelogramm verschiebt sich unter der Einwirkung der Gelenkstange *ED* fortwährend, jedoch so, dass der Punkt *B* eine Linie beschreibt, die von der

geraden verticalen Linie nur äusserst geringe und jedenfalls praktisch zulässige Abweichungen hat. Während also das Parallelogramm durch seine beweglichen Glieder eine feste Verbindung zwischen dem Balancier und der Kolbenstange herstellt, sichert es zugleich die nothwendige geradlinige verticale Bewegung der letzteren.

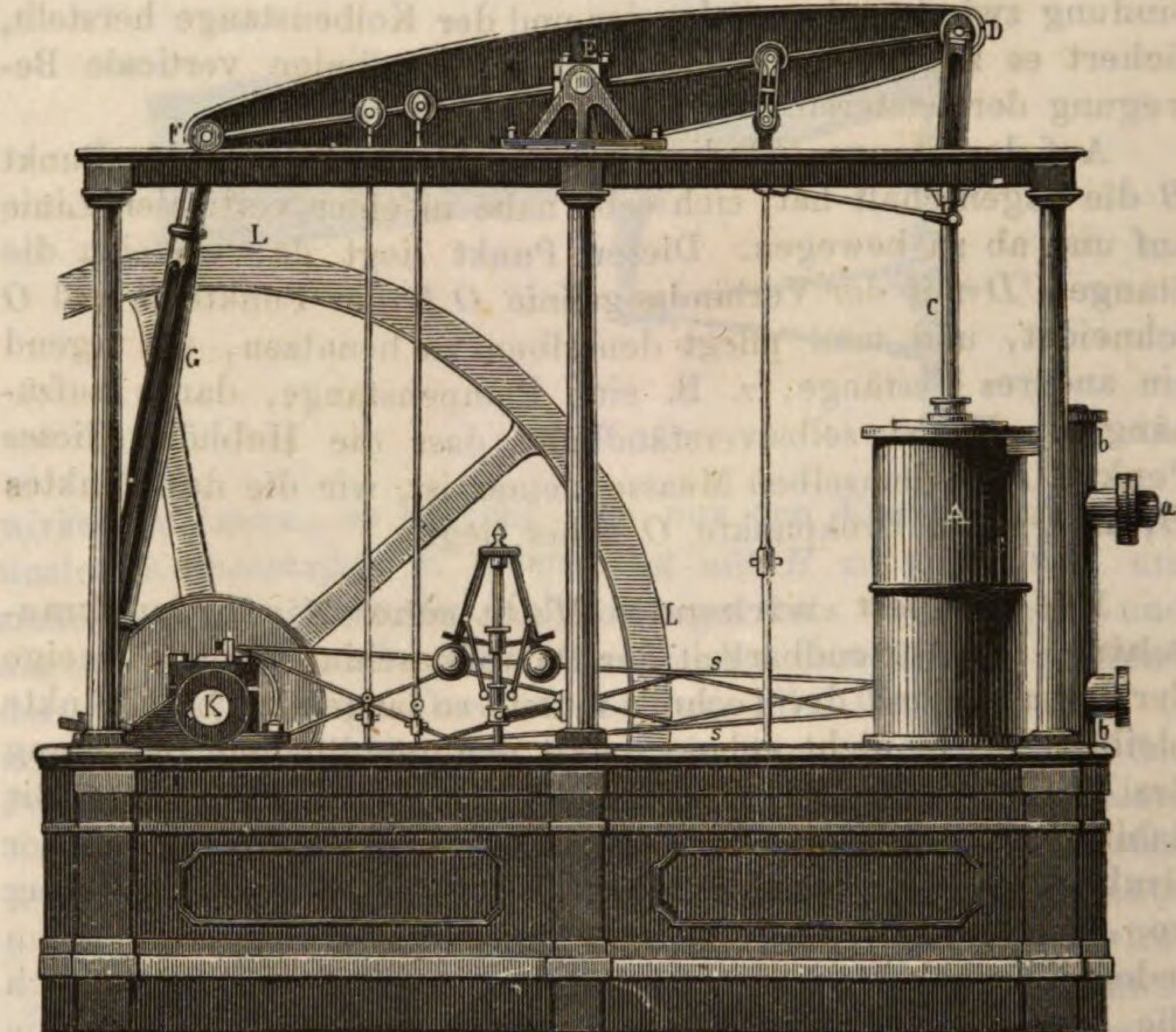
Auf der Stange *CD* liegt ein Punkt *F*, der wie der Punkt *B* die Eigenschaft hat, sich sehr nahe in einer verticalen Linie auf und ab zu bewegen. Dieser Punkt liegt da, wo sich die Stange *CD* mit der Verbindungslinie *OB* der Punkte *B* und *O* schneidet, und man pflegt denselben zu benutzen, um irgend ein anderes Gestänge, z. B. eine Pumpenstange, daran aufzuhängen. Es ist selbstverständlich, dass die Hubhöhe dieses Punktes *F* in demselben Maasse kleiner ist, wie die des Punktes *B*, als *F* dem Drehpunkte *O* näher liegt.

Die doppelt wirkende Watt'sche Niederdruckmaschine. Die Anwendbarkeit der Dampfmaschine für alle Zweige 246
der Industrie und der Technik musste so lange eine beschränkte bleiben, als es nicht gelang, statt der geradlinigen Bewegung des Kolbens eine rotirende Bewegung hervorzubringen. Bis dahin hatte man die Dampfmaschine nur zur Förderung der Grubenwasser angewandt; sollte dieselbe auch zur Verrichtung von anderen Arbeiten geeignet gemacht werden, so mussten jedenfalls noch Mechanismen hinzukommen, durch welche sich die hin- und hergehenden Oscillationen des Balanciers in die rotirende Bewegung einer Welle verwandeln liessen. Watt fand auch hier sehr bald das rechte Mittel. Indem er den Dampf nicht mehr, wie bisher, einseitig auf den Kolben einwirken liess, sondern Anordnungen traf, wodurch derselbe ununterbrochen bald auf die eine, bald auf die andere Seite des Kolbens wirken musste, die Condensation des Dampfes aber beibehielt, construirte er die sogenannte doppelt wirkende Niederdruckmaschine mit rotirender Welle, deren wesentlichere Theile so zweckmässig angeordnet waren und einen so hohen Grad der Vollendung zeigten, dass selbst die neuere Zeit nur sehr wenig an ihnen zu ändern gewusst hat.

Die Fig. 373 (a. f. S.) zeigt die Seitenansicht der ganzen Maschine; die Fig. 374 (a. S. 509) ist in einem etwas grösseren Maassstabe angefertigt und lässt die einzelnen Theile der inneren Einrichtung erkennen. Der Dampfcylinder *A* ist oben und unten geschlossen; in seinem Innern bewegt sich der Kolben auf und

ab und zwar dadurch, dass der Dampf abwechselnd bald auf die eine, bald auf die andere Seite desselben einwirkt. Die

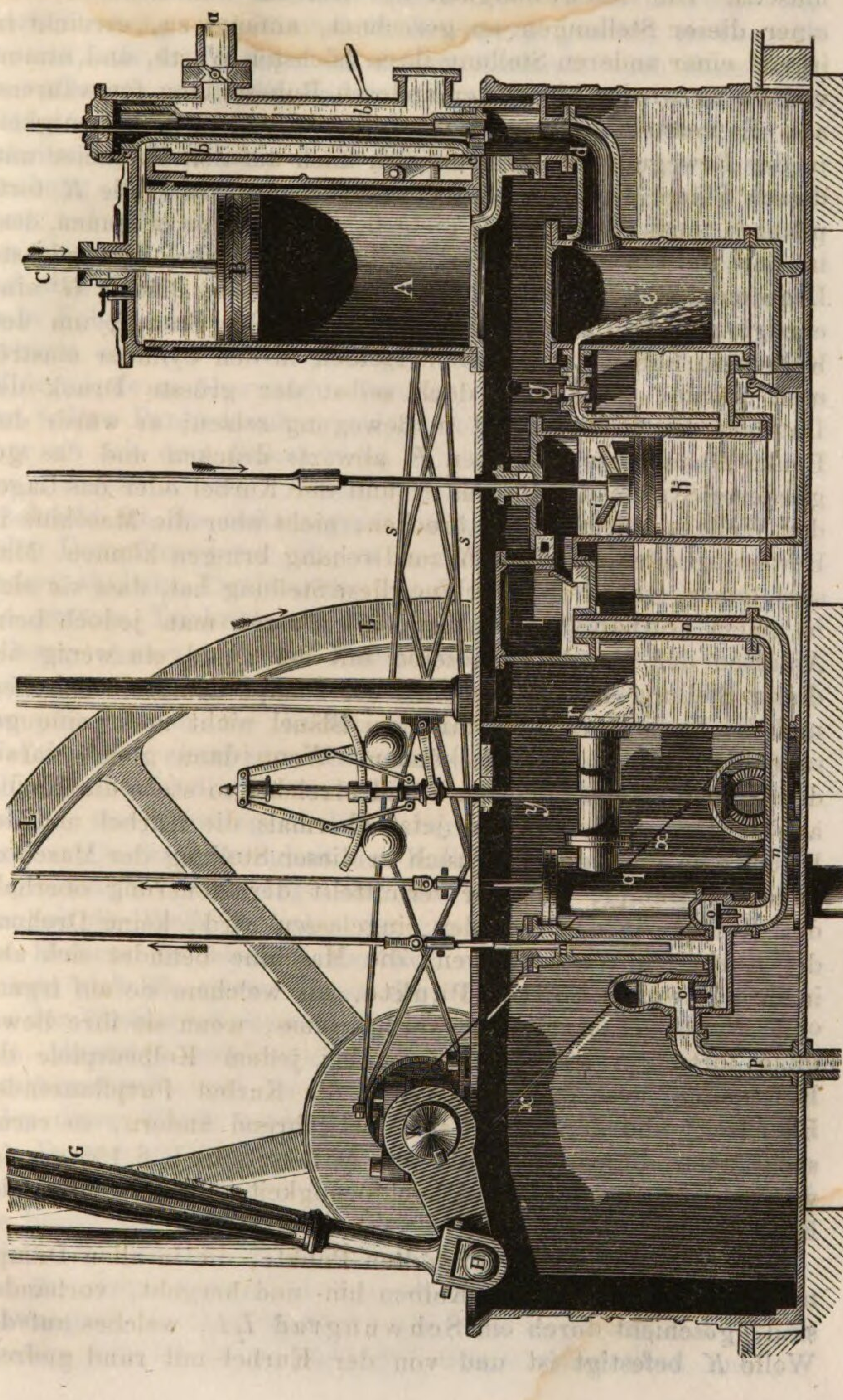
Fig. 373.



Kolbenstange *C* ist durch ein gegliedertes Parallelogramm mit dem einen Ende *D* des Balanciers *DEF* verbunden; ihre auf- und abgehende Bewegung versetzt daher den Balancier in eine oscillirende Bewegung um die Achse *E*. Das andere Ende *F* des Balanciers ist durch eine Bläuelstange *G* mit dem Ende *H* einer auf einer wagerechten Welle *K* sitzenden Kurbel befestigt; die auf- und abgehende Bewegung des Bläuels *G* pflanzt sich dann auf die Kurbelwarze *H* fort und bewirkt vermittelst der Kurbel eine ununterbrochene Drehung der Welle *K*.

Die Bewegung des Kolbens ist durchaus nicht gleichförmig; denn abgesehen von der ungleichen Wirkung des Dampfes auf den Kolben muss seine Geschwindigkeit bei jedem Kolbenspiele zweimal Null werden, in den Augenblicken nämlich, wo er seinen höchsten und seinen tiefsten Stand im Cylinder einnimmt und die Richtung seiner Bewegung sich in die entgegengesetzte

Fig. 374.



umsetzt. Die Geschwindigkeit des Kolbens nimmt daher, von einer dieser Stellungen an gerechnet, anfangs zu, erreicht in irgend einer anderen Stellung ihren höchsten Werth, und nimmt von da an wieder bis zu der anderen Ruhestellung fortwährend ab. Es versteht sich von selbst, dass diese Ungleichförmigkeit in der Bewegung des Kolbens sich auch auf den Balancier und dessen Bläuel G, so wie auf die Kurbel und die Welle K fortpflanzen muss. Die Fig. 373 giebt ferner sofort zu erkennen, dass in der tiefsten Stellung des Kolbens die Kurbel ihre höchste Lage einnimmt und ihre Richtung mit der des Bläuels G eine einzige gerade Linie bildet. Wenn nun der Dampf, um den Kolben zu heben, unterhalb desselben in den Cylinder einströmen würde, so könnte doch selbst der grösste Druck des Dampfes den Kolben nicht in Bewegung setzen; er würde den Punkt D aufwärts, dagegen F abwärts drücken und das gegliederte System des Bläuels G und der Kurbel oder das Lager der Welle verbiegen oder brechen, nicht aber die Maschine in Bewegung oder die Welle K zur Drehung bringen können. Man sagt daher, wenn die Maschine diese Stellung hat, dass sie sich in einem todten Punkte befindet. Bringt man jedoch beim Anlassen der Maschine dieselbe mit der Hand ein wenig aus dieser Stellung heraus, so wird der Dampf den Kolben heben, und die Kurbel, die nun mit dem Bläuel nicht mehr eine gerade Linie bildet, drehen können. Wenn dann gleich darauf der Kolben seinen höchsten Stand erreicht, so steht die Kurbel am tiefsten, und es bilden jetzt abermals die Kurbel und der Bläuel eine gerade Linie. Auch in dieser Stellung der Maschine kann der Dampf, wenn er vermittelst der Steuerung oberhalb des Kolbens in den Cylinder eingelassen wird, keine Drehung der Kurbel zu Wege bringen; die Maschine befindet sich also in ihrem zweiten todten Punkte, aus welchem sie auf irgend eine Weise herausgebracht werden muss, wenn sie ihre Bewegung fortsetzen soll. Da ferner bei jedem Kolbenspiele die Richtungen des den Druck auf die Kurbel fortpflanzenden Bläuels G und der Kurbel sich fortwährend ändern, so verursacht auch dieser Umstand, wie es bereits in I. §. 158 gezeigt worden ist, eine grosse Ungleichförmigkeit in der Drehung der Kurbelwelle.

Die Ueberwindung der todten Punkte, die in allen Dampfmaschinen, in denen ein Kolben hin- und hergeht, vorhanden sind, geschieht durch ein Schwungrad LL, welches auf der Welle K befestigt ist und von der Kurbel mit rund gedreht

wird. Hat dasselbe bei dem ersten Kolbenhube in Folge der Kurbeldrehung sich einmal in Bewegung gesetzt, so bestrebt es sich, als träge Masse in diesem Zustande auch dann noch zu verharren, wenn die drehende Kraft aufhört zu wirken, und tritt vermöge der ihm inne wohnenden lebendigen Kraft als arbeitende Masse auf, wenn Widerstände sich seiner ferneren Drehung entgegensetzen. Kommt nun die Maschine in einem ihrer todten Punkte an, so kann der Druck des Dampfes selbst zur Drehung der Welle nicht mehr beitragen; das Schwungrad aber bleibt in diesem Punkte nicht stehen, sondern indem es in Folge seines Beharrungsvermögens seine Bewegung noch fortsetzt und als wirkungsfähige Masse die entgegenstehenden Widerstände zu überwinden vermag, bringt es die Kurbel über den todten Punkt hinüber und giebt ihr eine Stellung, in welcher sie mit dem Bläuel einen Winkel bildet und der Druck des Dampfes wieder drehend wirken kann. Schon aus dieser Rücksicht ist das Schwungrad ein unentbehrlicher Theil einer jeden Dampfmaschine. Wo es zu fehlen scheint, wird es durch andere ähnliche Theile ersetzt, z. B. bei der Locomotive durch die grossen Triebräder und die ganze bewegliche Masse derselben, ebenso bei den Dampfschiffen durch die Schaufelräder, wobei man dann noch durch Aufstellung von zwei Dampfmaschinen die beiden Kurbeln auf eine und dieselbe Welle derart einwirken lässt, dass die Kurbel der einen Maschine jedesmal die der anderen über den todten Punkt hinüber bringt. Das Schwungrad dient aber ausserdem noch dazu, die aus der Ungleichförmigkeit der Kolbenbewegung herrührenden Ungleichheiten im Gange der Maschine zu beseitigen. Will nämlich die Welle in Folge der zunehmenden Geschwindigkeit des Kolbens für einen Augenblick etwas schneller gehen, so sträubt sich die grosse Masse des Schwungrades dagegen; die aus der Geschwindigkeitszunahme des Kolbens herrührende Arbeit überträgt sich nämlich auf alle zusammenhängenden Maschinentheile und die Zunahme der Geschwindigkeit eines jeden dieser Theile wird um so kleiner, je grösser seine Masse ist. Da nun das Schwungrad stets eine sehr bedeutende Masse hat, so hat die zunehmende Geschwindigkeit des Kolbens auf die Bewegung des Schwungrades und daher auch auf die der Triebwelle nur sehr wenig Einfluss. Wenn umgekehrt der Kolben für einen Augenblick langsamer geht, so beeilt sich das Schwungrad in dem Bestreben, seinen Bewegungszustand zu erhalten, die Welle zu rascherem Gange anzutreiben und er-

setzt ihr an Bewegung, was ihr seitens des Kolbens abgeht. Diese kleinen Ungleichförmigkeiten, die bei einigen Maschinen (Locomotiven, Dampfschiffen u. s. w.) nicht störend sind, bei vielen anderen dagegen zum Betriebe von Spinnereien, Webereien, Druckereien u. s. w. dienenden Dampfmaschinen durchaus vermieden werden müssen, werden durch das Schwungrad um so mehr ausgeglichen, je grösser die Masse des Radkranzes und der Halbmesser des Rades ist.

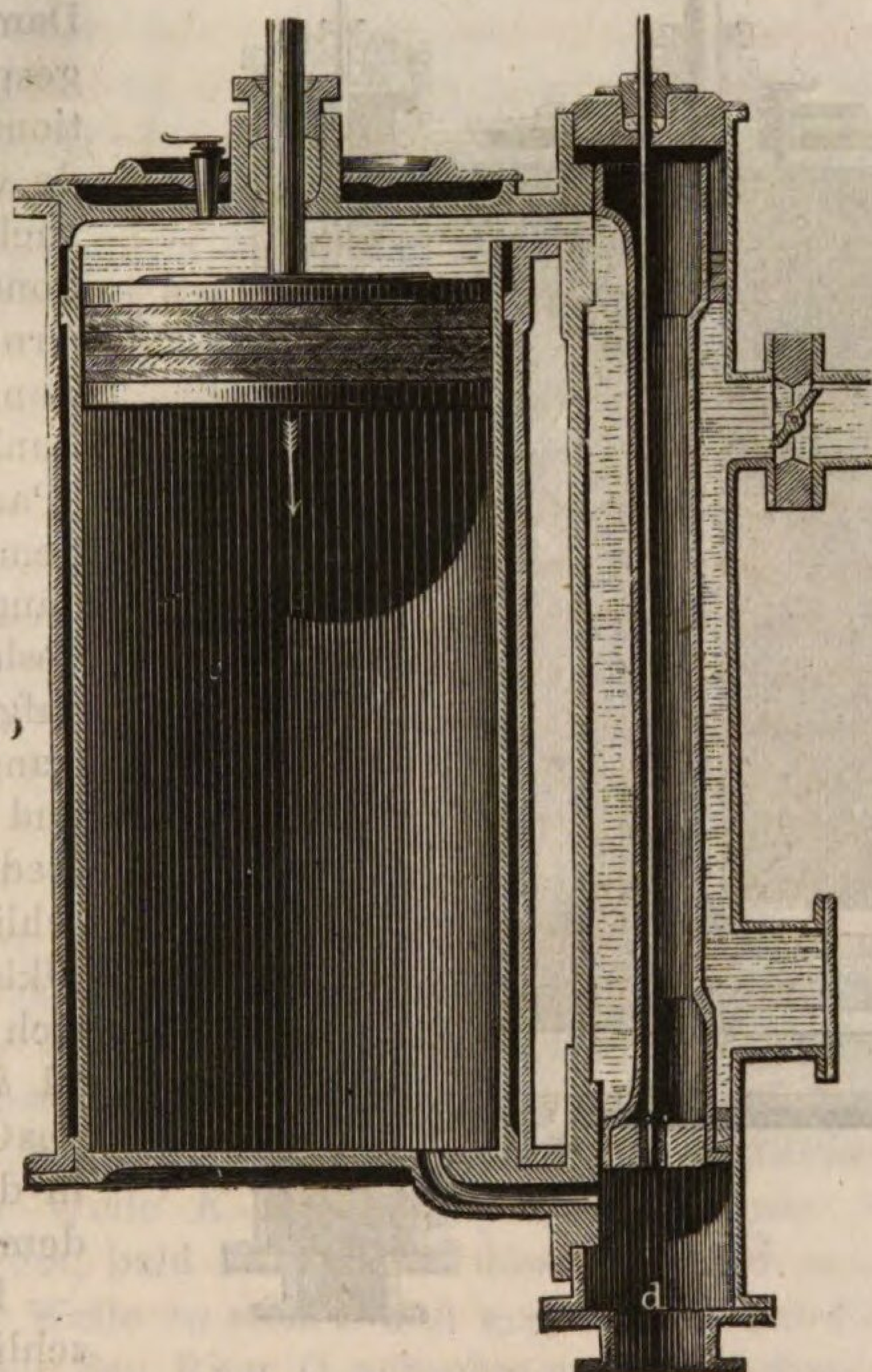
Der Dampf tritt aus dem Dampfkessel durch das Rohr *a*, Fig. 374, zunächst in eine besondere Kammer *b b*, Dampfbüchse oder Steuerkasten genannt, und kann von hier aus unten oder oben in den Cylinder *A* gelangen, je nachdem der Kolben *B* auf- oder abbewegt werden soll. Zu diesem Zwecke lässt sich in der Dampfbüchse *b b* ein hohler Schieber vermittelst einer durch eine Stopfbüchse nach aussen tretenden Schubstange auf- und abbewegen; derselbe ist in Fig. 375 im Durchschnitt besonders abgebildet. Er ist, wie man sieht, hohl und an seinen beiden Enden etwas erweitert; während die Theile *c*, *c*, mit welchen er auf der Wand des Cylinders gleitet, eben abgeschliffen sind, geht der übrige Theil dieser Enden durch Stopfbüchsen, die durch besondere nach aussen gehende Stellschrauben fest und dicht gehalten werden. Auf diese Weise bilden die beiden Enden des Schiebers einen dampfdichten Anschluss an die umgebenden Wandtheile der Dampfbüchse, und der bei *a* in diese Büchse einströmende frische Dampf kann sich zunächst nur um den Schieber herum verbreiten, nicht aber über seine Enden hinaus vordringen. Die im Innern des Schiebers an seinem unteren Ende befestigte Schubstange verschliesst seine Höhlung nur zum kleinsten Theile, so dass der in den oberen Theil des Schiebers eintretende verbrauchte Dampf ungehindert hindurchströmen und durch das Rohr *d*, Fig. 376, in den Condensator gelangen kann. In dieser Figur befindet sich der Schieber in seiner höchsten Stellung; der bei *a* in die Dampfbüchse eintretende Dampf umgiebt den Schieber und strömt durch einen oberen Seitenkanal in den oberen Theil des Cylinders; der untere Theil des Cylinders steht dagegen durch das Rohr *d* mit dem Condensator *e*, Fig. 374, in Verbindung; der Kolben wird daher durch den Ueberdruck des Dampfes gegen seine obere Seite herabgedrückt werden. In der Fig. 377 (a. S. 514) steht der Schieber in seiner tiefsten Stellung; der frische Dampf gelangt nun aus der Dampfbüchse in den unteren Theil des Cylinders, der obere Theil des letzteren steht dagegen

durch die Höhlung des Schiebers und das Rohr *d* mit dem Condensator in Verbindung, der Kolben steigt daher durch den

Fig. 375.



Fig. 376.

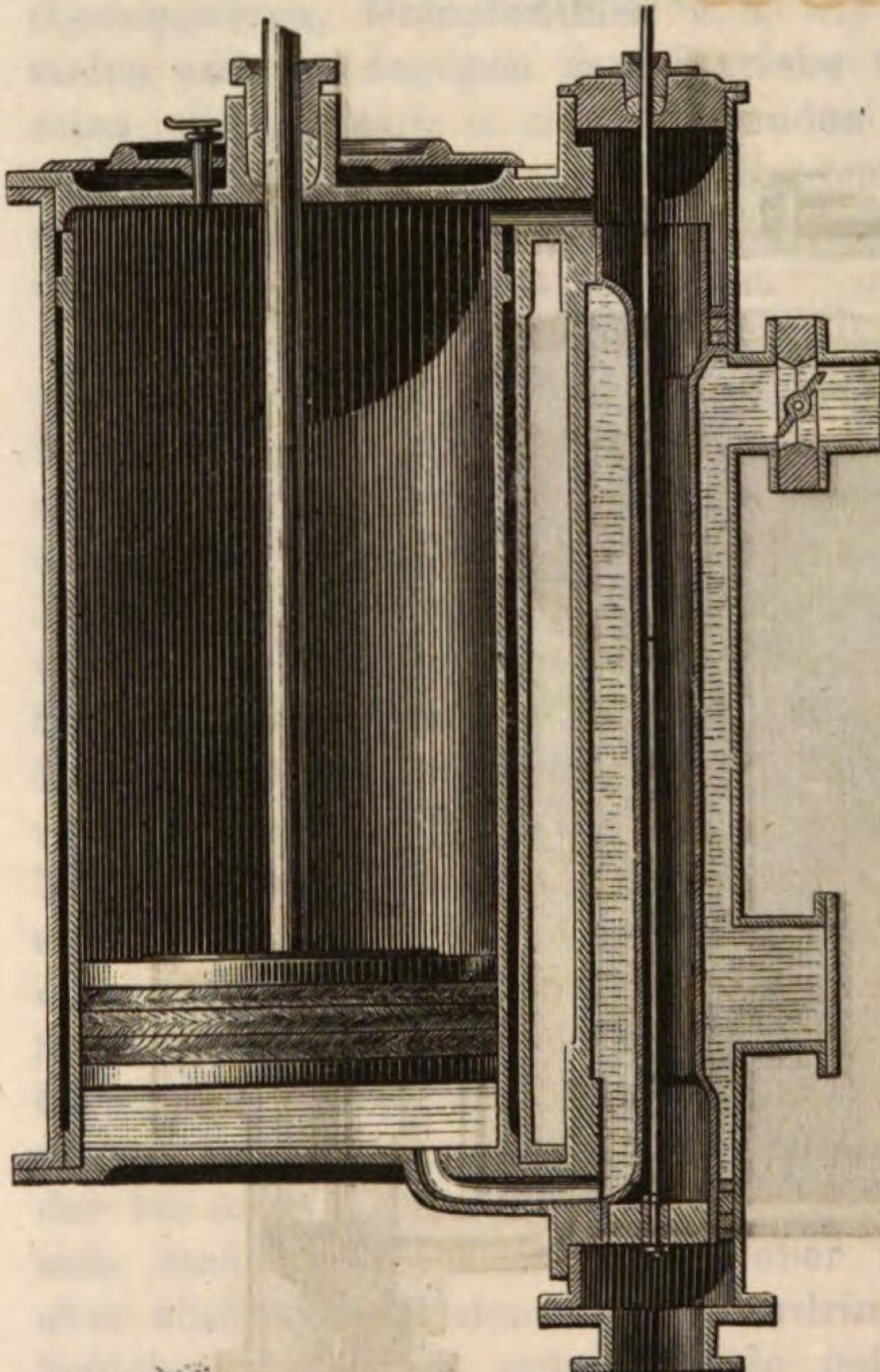


Ueberdruck des Dampfes gegen die untere Seite in die Höhe. In den beiden Figuren 376 und 377 ist der Schieber der grösseren Deutlichkeit wegen absichtlich in die höchste und tiefste Stellung gezeichnet worden; diese Stellungen sind jedoch in Bezug auf die Stellungen des Kolbens nicht richtig, da bei dem höchsten und tiefsten Stande des Kolbens die entsprechenden zum Cylinder führenden Dampfwege nur sehr wenig geöffnet sind und erst ganz offen stehen, wenn der Kolben sich in der Mitte des Cylinders befindet.

Durch das Rohr *f*, Fig. 374, fliesst beständig ein Strahl kalten Wassers in den Condensator *e*; der Zufluss dieses Wassers kann durch einen Hahn *g* nach Belieben regulirt werden. Neben dem Condensator steht die Luftpumpe *h*, welche, wie

wir bereits bei der Cornwall-Maschine gesehen haben, den Zweck hat, sowohl das aus dem condensirten Dampfe und dem eingespritzten Condensationswasser herrührende warme Wasser, als auch die Luft aus dem Condensator *e* zu entfernen. Die Pumpenstange ist in dem Punkte *F*, Fig. 372, des Parallelogramms an dem Balancier aufgehängt und kann sich deshalb, wie die in *B* aufgehängte Kolbenstange, geradlinig auf- und abbewegen. Bei jedem Pumpenhube schliessen sich die Ventilklappen *i i*, es öffnet sich dagegen das Ventil *k* und das Wasser des Condensators dringt in die Pumpe; bei jedem Niedergange des Pumpenkolbens schliesst sich *k*, es öffnen sich die Klappen *ii* und das Wasser dringt durch den Kolben hindurch, um bei dem nächsten Hube des Kolbens in den Behälter *l* gehoben zu werden.

Fig. 377.



Aus diesem Behälter fliesst ein Theil des warmen Wassers ab, ein anderer Theil aber wird durch die mit einem Mönchskolben versehene Druckpumpe *m*, die Speisepumpe, bei jedem Hube dieses Kolbens durch das Rohr *n n* aufgesaugt, beim Niedergange des Kolbens durch das Druckventil *o'* in einen Windkessel gepumpt und von hier aus durch ein Rohr *p* in den Dampfkessel gepresst, um daselbst das Wasser, das in Dampf verwandelt worden ist, wieder zu ersetzen. Die Speisepumpe erhält ihre Bewegung ebenfalls durch den Balancier.

Endlich ist noch eine dritte Pumpe *q* vorhanden, die Kalt-

wasserpumpe, welche aus einem Brunnen oder einem benachbarten Flusse beständig kaltes Wasser aufsaugt und es durch ein Seitenrohr *r* in den Behälter ausgiesst, in welchem der Condensator *e* steht. Aus diesem Behälter strömt das Wasser durch das Rohr *f* und den Hahn *g* nur durch den Ueberdruck der äusseren atmosphärischen Luft über den geringen, etwa $\frac{1}{10}$ Atmosphäre betragenden Druck im Innern des Condensators beständig in diesen hinein.

Fig. 378.



Die excentrische Scheibe. Zur Erhaltung 247
der hin- und hergehenden Bewegung des Schiebers in der Dampfbüchse dient ein besonderer Mechanismus, der ebenfalls von der Dampfmaschine selbst in Bewegung gesetzt wird. Auf der Welle *K*, Fig. 374 und Fig. 378, ist nämlich eine Kreisscheibe *P* derart befestigt, dass ihr Mittelpunkt ausserhalb der Achse der Welle *K* liegt. Um den Umfang dieser Scheibe, die man excentrische Scheibe nennt, ist ein Ring *Q* nur so fest angelegt, dass sich die Scheibe darin frei drehen kann. Während nun die Welle *K* rund läuft und die excentrische Scheibe an dieser Bewegung Theil nimmt, kommt derjenige Theil derselben, der am weitesten aus der Welle *K* vorspringt, nach einander bald rechts, bald links, bald diesseits, bald jenseits der Welle zu stehen und muss bei dieser Bewegung den Ring *Q* mitnehmen. Da jedoch der Ring an den Stangen *S S* befestigt ist und sich daher mit der excentrischen Scheibe *P* nicht rund drehen kann, so wird er von der Scheibe bald nach der einen, bald nach der anderen Seite der Welle *K* hingedrängt und bei einem Umlaufe der Welle in die beiden Hauptstellungen gebracht, welche in der Figur angedeutet sind. Die Stangenverbindung *S S*, welche auf dem Ringe *Q* befestigt ist, nimmt in Folge dieser Drehung der excentrischen Scheibe zwar nicht genau eine geradlinige Bewegung an, jedoch wird sie bei jedem Umlaufe der Welle in ihrer Längerichtung einmal hin- und einmal herge-

schoben, und macht dabei offenbar einen Hub, der doppelt so gross ist, als die Entfernung der beiden Mittelpunkte der Welle K und der Scheibe P. Die beiden Zugstangen SS vereinigen sich zuletzt in einer einzigen mit einem Ausschnitt versehenen Stange, die einen vorspringenden Griff t eines Winkelhebels tUV umfasst. Durch die hin- und hergehende Bewegung der Stangen SS dreht sich der Hebel tUV um seine feste Drehachse U ebenfalls hin und her, und da das Ende V mit dem Endpunkte einer verticalen auf die Schieberstange einwirkenden Zugstange in Verbindung steht, so wird durch die Drehung der Welle K vermittelst der excentrischen Scheibe P, des Gleitringes Q und der Winkelhebelverbindung SS, tUV auch der Schieber in der Dampfbüchse bb, Fig. 374, regelmässig auf- und abbewegt.

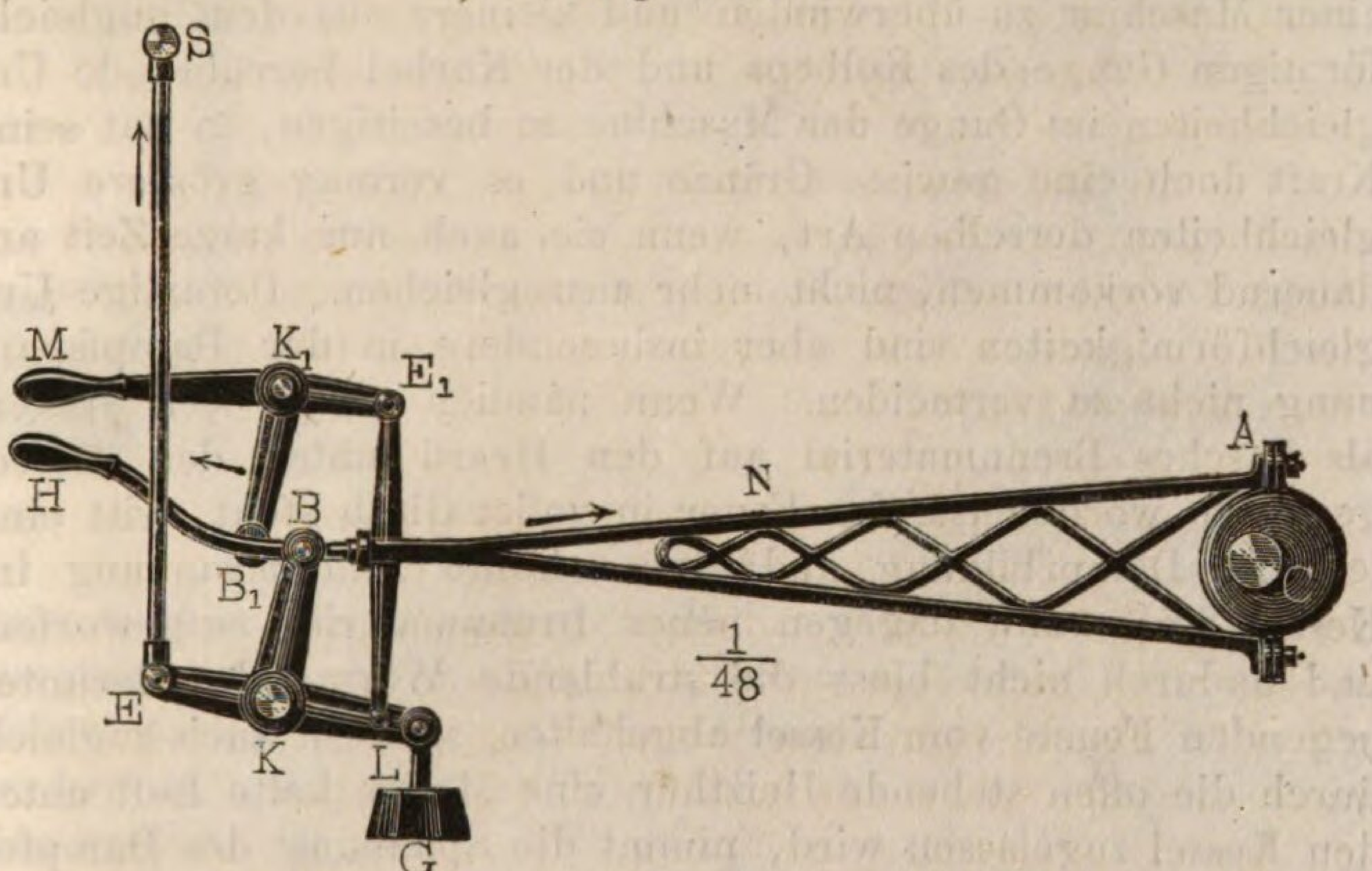
Um die Maschine in Gang zu bringen, hebt man zuerst mit einem zu diesem Zwecke besonders angebrachten Handgriff die Verbindung der Schubstangen SS und des Griffes t auf, damit das Hebelsystem tUV frei werde und nach Belieben von der Hand bewegt werden könne. Darauf giebt man vermittelst des auf dem Hebelarme UV sitzenden Handgriffes dem Schieber in der Dampfbüchse abwechselnd diejenigen Stellungen, bei denen der Kolben sich auf- und abbewegen muss. Hat man auf diese Weise die Welle K und das Schwungrad in Bewegung gebracht, so stellt man die Verbindung zwischen dem Gestänge SS und dem Griffe t wieder her, worauf die Maschine ihren weiteren Gang von selbst fortsetzt und unterhält.

Manche Maschinen, z. B. Locomotiven, Dampfschiffe, Förderungsmaschinen müssen mit einer Steuerung versehen sein, durch welche man dieselben sowohl vorwärts als rückwärts gehen lassen kann. Derartige Umsteuerungen lassen sich auf mancherlei Weise ausführen und kommen im Wesentlichen darin überein, dass man bei der einen Drehung der Welle die Steuerung eine entgegengesetzte Bewegung machen lässt, als bei der anderen. Man denke sich z. B. den Kolben in der Mitte des Cylinders stehen, wie dieses in Fig. 374 nahe der Fall ist. Wird in dieser Stellung durch Steuerung des Schiebers mit der Hand der obere aus der Dampfbüchse in den Cylinder führende Dampfweg geöffnet, so strömt der Dampf auf die obere Seite des Kolbens ein und treibt denselben abwärts. Hätte man dagegen bei derselben Kolbenstellung den Schieber so gestellt, dass der untere Dampfweg geöffnet worden wäre, so würde der Dampf unterhalb des Kolbens eingeströmt sein und denselben

in die Höhe bewegt haben. In letzterem Falle würde also die Maschine die entgegengesetzte Bewegung angenommen haben, als im ersteren. Es kommt also, um in dieser Weise die Umsteuerung zu bewirken, nur darauf an, dass man es in der Hand habe, durch eine besondere Hebelverbindung der Schubstange des Dampfschiebers bei einer und derselben Bewegungsrichtung der excentrischen Scheibe eine auf- oder eine abwärts gehende Bewegung zu ertheilen.

In der Fig. 379 ist ein solcher Hebelmechanismus dargestellt. N ist die Excentrikstange; H die zum Ausheben dersel-

Fig. 379.



ben aus dem Griffe B dienende Handhabe; K und K_1 sind zwei Achsen, um welche sich die Winkelhebel EKB und $E_1 K_1 B_1$ so drehen, dass die kurzen Zapfen B, B_1 nahe an einander vorbeischwingen. Die Verbindungsstange $E_1 L$ überträgt die Bewegungen des Hebels EKB auf den Hebel $E_1 K_1 B_1$, während der Endpunkt E des ersteren Hebels seine Bewegung der Schieberstange ES mittheilt. In der Figur wirkt die Excentrikstange N auf den Zapfen B und den Hebel BKE, während der andere Hebel leer geht. G wirkt bloss als Gegengewicht. Bewegt sich nun die Stange N nach der Richtung des rechts liegenden Pfeiles, so geht die Schieberstange ES in die Höhe; soll dagegen behufs der Umsteuerung der Maschine die Schieberstange herab bewegt werden, so löst man mittelst des Handgriffs H die Stange N von dem Zapfen B los, und drückt die

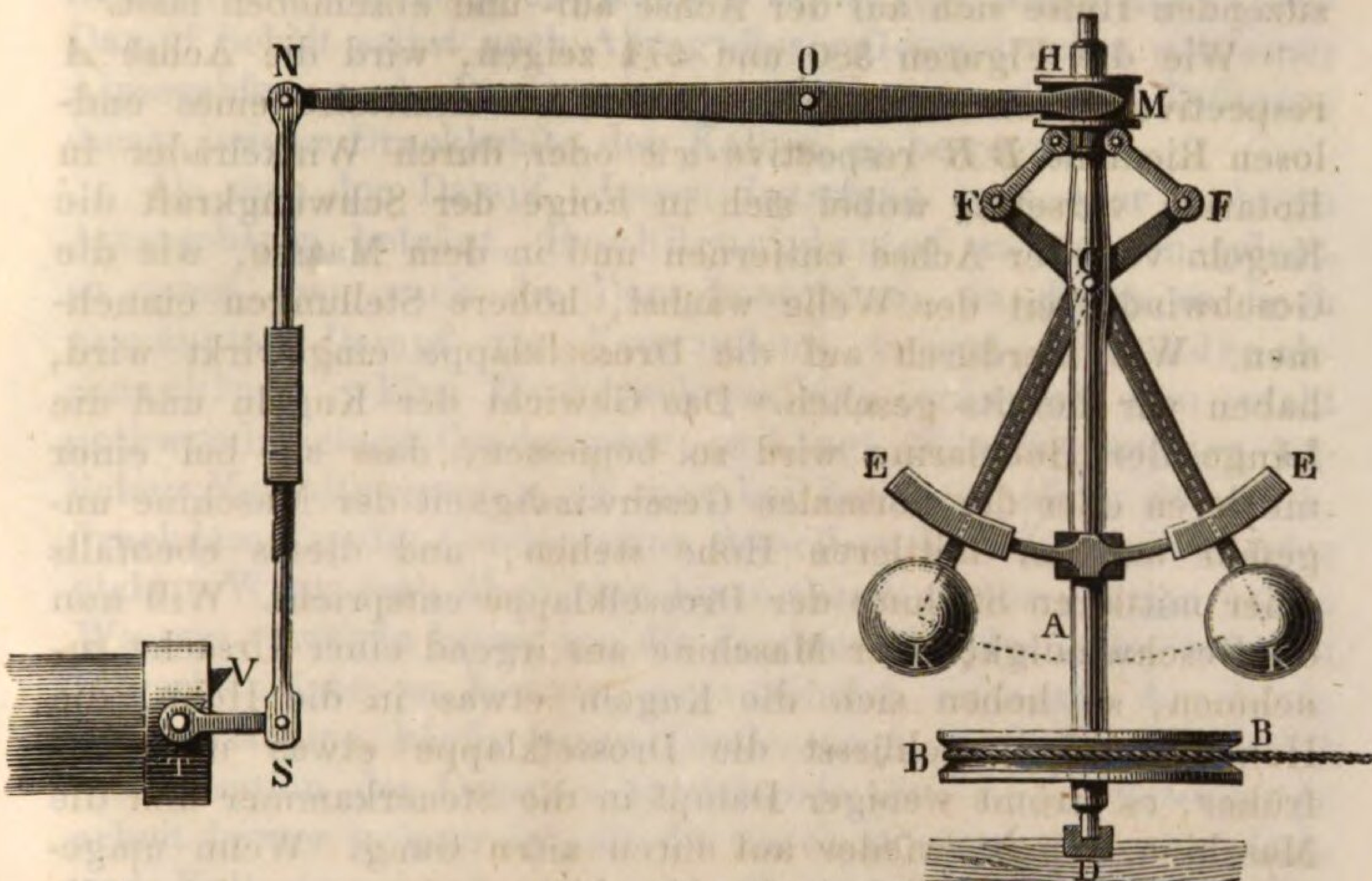
Handhabe *M* nieder; die Zugstange $E_1 L$ wird dadurch gehoben und die Schieberstange *E S* bei demselben Kolbenstande der Maschine abwärts bewegt. Die Maschine nimmt nun in Folge der Umsteuerung des Dampfes sofort die entgegengesetzte Bewegung an, und man braucht schliesslich nur noch den Zapfen B_1 in den Ausschnitt der Excentrikstange *N* einzuhängen und die Maschine sich selbst zu überlassen. Eine andere Umsteuerung werden wir noch bei den Locomotiven kennen lernen.

248 **Der Centrifugal-Regulator und die Drosselklappe.** Wenn das Schwungrad auch im Stande ist, die todten Punkte einer Maschine zu überwinden und kleinere aus dem ungleichförmigen Gange des Kolbens und der Kurbel herrührende Ungleichheiten im Gange der Maschine zu beseitigen, so hat seine Kraft doch eine gewisse Gränze und es vermag grössere Ungleichheiten derselben Art, wenn sie auch nur kurze Zeit andauernd vorkommen, nicht mehr auszugleichen. Derartige Ungleichförmigkeiten sind aber insbesondere in der Dampfspannung nicht zu vermeiden. Wenn nämlich einige Zeit später, als frisches Brennmaterial auf den Heerd unter den Kessel geworfen worden ist, das Feuer in voller Gluth steht, tritt eine lebhafte Dampfbildung und eine erhöhte Dampfspannung im Kessel ein; wenn dagegen neues Brennmaterial aufgeworfen, und dadurch nicht bloss die strahlende Wärme des darunter liegenden Feuers vom Kessel abgehalten, sondern auch zugleich durch die offen stehende Heizthür eine Menge kalte Luft unter den Kessel zugelassen wird, nimmt die Spannung des Dampfes nicht unmerklich ab. Es ist klar, dass diese sich oft wiederholenden Ungleichheiten in der Dampfspannung auf die Gleichförmigkeit der Maschine sehr nachtheilig einwirken müssen und nicht so leicht durch ein Schwungrad ausgeglichen werden können. Noch störender für den regelmässigen Gang der Maschine sind Veränderungen in den von ihr zu überwindenden Widerständen.

Um auch hier die Bewegung der Triebwelle so gleichförmig als möglich zu machen, nimmt man seine Zuflucht zu einem anderen Mittel; in dem Maasse nämlich, als in Folge einer Vergrösserung der Dampfspannung oder einer Verminderung der Widerstände die Maschine eine grössere Geschwindigkeit annehmen will, sucht man den Zufluss des Dampfes zu der Steuerkammer zu vermindern, und umgekehrt sucht man denselben zu vermehren, wenn in Folge der Kraftabnahme oder der Lastzunahme die Maschine langsamer gehen will. Zu die-

sem Zwecke ist das vom Kessel zu der Steuerkammer führende Dampfrohr *T*, Fig. 380 (in der Fig. 374 mit *a* bezeichnet), mit

Fig 380.



einer Klappe, der Drosselklappe, versehen, auf welche die Maschine selbst durch eine besondere Regulirvorrichtung einwirken kann. Letztere ist, wie die Figur zeigt, ganz nach Art des bereits in I. §. 161 beschriebenen Centrifugal-Regulators eingerichtet. Die Achse *T* der Drosselklappe *V* ist nämlich auf dem einen Ende *T* des gegliederten Winkelhebels *TSNOH* befestigt; der Drehpunkt dieses Hebels liegt in *O* und das andere Ende *H* umfasst gabelförmig einen Ring *M*, der mit dem gegliederten Viereck *MFFG* verbunden ist und mit den Gliedern dieses Vierecks sich zwischen der Gabel *H* um die Achse *A* rund drehen kann, ohne die Gabel in der Richtung der Drehung mitzunehmen. Die beiden Glieder *FG*, die in *G* ihren gemeinschaftlichen Drehpunkt auf der Achse *A* haben, sind über *G* hinaus verlängert und an ihren Enden mit den Kugeln *K*, *K* versehen. Nun ist leicht einzusehen, dass mit dem Steigen und Sinken der Kugeln *K* zugleich ein Sinken und Steigen der Hülse *M* und hiermit wieder eine die Durchgangsöffnung des Dampfes verkleinernde oder vergrössernde Stellung der Drosselklappe *V* verbunden ist. In anderen Einrichtungen, z. B. Fig. 374, ist die von dem Hebelende gabelförmig

umfasste Hülse mit dem unteren Kreuzpunkte der Vierecksstangen verbunden, so dass der feste Drehpunkt dieser Glieder oben liegt, dagegen der untere Kreuzpunkt nebst der darauf sitzenden Hülse sich auf der Achse auf- und abschieben lässt.

Wie die Figuren 380 und 374 zeigen, wird die Achse *A* respective *y* von der Schwungradwelle vermittelst eines endlosen Riemens *B B* respective *x x* oder durch Winkelräder in Rotation versetzt, wobei sich in Folge der Schwungkraft die Kugeln von der Achse entfernen und in dem Maasse, wie die Geschwindigkeit der Welle wächst, höhere Stellungen einnehmen. Wie hierdurch auf die Drosselklappe eingewirkt wird, haben wir bereits gesehen. Das Gewicht der Kugeln und die Länge der Hebelarme wird so bemessen, dass sie bei einer mittleren oder der normalen Geschwindigkeit der Maschine ungefähr auf der mittleren Höhe stehen, und dieses ebenfalls einer mittleren Stellung der Drosselklappe entspricht. Will nun die Geschwindigkeit der Maschine aus irgend einer Ursache zunehmen, so heben sich die Kugeln etwas in die Höhe, die Hebelverbindung schliesst die Drosselklappe etwas mehr als früher, es strömt weniger Dampf in die Steuerkammer und die Maschine kommt wieder auf ihren alten Gang. Wenn umgekehrt die Geschwindigkeit der Maschine abnimmt, so sinken die Kugeln, es öffnet sich die Drosselklappe etwas weiter, der Dampf kann reichlicher zuströmen und die Maschine etwas schneller gehen. Durch eine zweckmässige Einrichtung des Centrifugal-Regulators einerseits und des Schwungrades andererseits lassen sich alle aus den genannten Quellen herrührende Ungleichheiten in dem Gange der Maschine so sehr ausgleichen, dass die Drehung der Schwungradwelle und die Bewegung der damit in Verbindung stehenden Werkzeugsmaschinen fast ganz gleichförmig erfolgt.

249 **Die Hochdruckmaschine ohne Condensation und Expansion.** Wenn die Spannung des Dampfes nicht viel mehr als eine Atmosphäre beträgt, so ist der Condensator unentbehrlich, damit die Spannung des verbrauchten Dampfes im Cylinder auf der Rückseite des Kolbens möglichst vernichtet, und so dem frischen Dampf gestattet werde, fast mit seiner ganzen Spannkraft auf die Vorderfläche des Kolbens einzuwirken. Anders ist es, wenn die Spannung des Dampfes im Kessel zwei oder mehrere Atmosphären beträgt; in diesem Falle kann man den verbrauchten Dampf statt in den Condensator direct in die

freie Luft streichen lassen. Es wirkt dann zwar auf der Rückseite des Kolbens dem abströmenden Dampfe der Druck einer Atmosphäre entgegen und dieser Gegendruck pflanzt sich natürlich auf die Rückseite des Kolbens selbst fort, allein der frische Dampf behält selbst nach Abzug dieses Gegendruckes von einer Atmosphäre noch Druck genug übrig, um mit der Differenz dieser beiden Druckkräfte den Kolben zu bewegen.

Da man den Dampf, dessen Spannung zwei oder mehrere Atmosphären beträgt, Hochdruckdampf zu nennen pflegt, so nennt man auch die Dampfmaschinen, in denen so hoch gespannter Dampf zur Verwendung kommt, Hochdruckmaschinen. Eine Hochdruckmaschine erfordert also nicht nothwendig einen Condensator; es hängt vielmehr von den örtlichen Verhältnissen ab, ob man bei der Anwendung des Hochdruckdampfes die Condensation desselben beibehalten will oder nicht. Wenn man über eine hinreichend grosse Menge kalten Wassers verfügen kann, um die Condensation des Dampfes leicht bewerkstelligen zu können, so verbindet man mit der Hochdruckmaschine häufig einen Condensator, weil der durch die Condensation des Dampfes entstehende Gewinn an Bewegungsarbeit immer grösser ist, als die durch die Bewegung der Luft- und Kaltwasserpumpe erzeugte Widerstandsarbeit. Wenn dagegen die Beschaffung des kalten Wassers mit Schwierigkeiten verbunden ist, oder die Dampfmaschine nur sehr wenig Raum einnehmen soll, so lässt man den Condensator weg, womit dann zugleich die Luftpumpe und die Kaltwasserpumpe in Wegfall kommen und die Maschine den höchsten Grad der Einfachheit annimmt.

Die Einrichtung einer solchen Hochdruckmaschine ohne Condensation und ohne Expansion ist aus den Figuren 381 (a. f. S.) und 382 (a. S. 523) zu ersehen. *AA* ist der Cylinder, *C* der Kolben, dessen Stange durch eine in dem oberen Deckel des Cylinders befindliche Stopfbüchse hindurchgeht, *P* der Bläuel, *Q* die Kurbel, *xx* das auf der Triebwelle befestigte Schwungrad. Wie man sieht, fällt der Balancier, der bei der Condensationsmaschine zum Betriebe der Pumpen nöthig war, weg, und die geradlinige Bewegung der Kolbenstange wird vermittelst des Bläuels *P* direct auf die Kurbel *Q* übertragen und von dieser in die rotirende Drehung der Welle umgesetzt. Damit die Kolbenstange stets gerade bleibe und sich nicht durch den seitwärts gerichteten Druck des Bläuels verbiege, ist auf ihren Kopf ein Querstück *qq* (Fig. 382) aufgesetzt, welches mit zwei

Fig. 381.


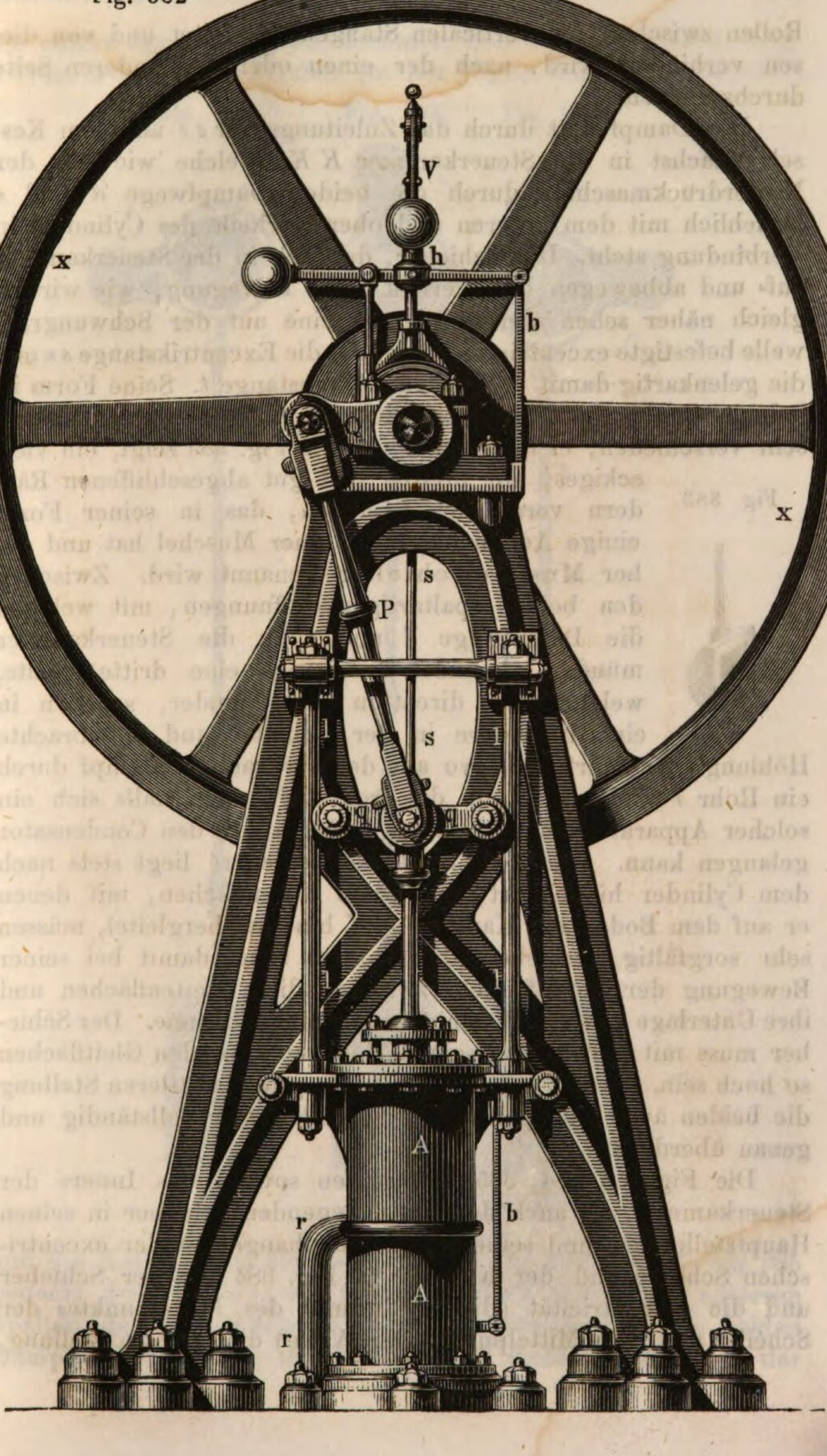


Fig. 382.



Rollen zwischen den verticalen Stangen *l l* gleitet und von diesen verhindert wird, nach der einen oder der anderen Seite durchzubiegen.

Der Dampf tritt durch das Zuleitungsrohr *z z* aus dem Kessel zunächst in die Steuerkammer *K K*, welche wie bei der Niederdruckmaschine durch die beiden Dampfwege *d* und *e* beziehlich mit dem unteren und oberen Theile des Cylinders in Verbindung steht. Der Schieber, der sich in der Steuerkammer auf- und abbewegen lässt, erhält seine Bewegung, wie wir sogleich näher sehen werden, durch eine auf der Schwungradwelle befestigte excentrische Scheibe *f*, die Excentrikstange *s s* und die gelenkartig damit verbundene Schubstange *t*. Seine Form ist jedoch von der des früher beschriebenen hohlen Röhrenschiebers sehr verschieden; er bildet nämlich, wie Fig. 383 zeigt, ein viereckiges, mit breiten und gut abgeschliffenen Rändern versehenes Kästchen, das in seiner Form einige Aehnlichkeit mit einer Muschel hat und daher Muschelschieber genannt wird. Zwischen den beiden spaltartigen Oeffnungen, mit welchen die Dampfwege *d* und *e* in die Steuerkammer münden, befindet sich noch eine dritte Spalte, welche nicht direct in den Cylinder, sondern in eine besondere in der Cylinderwand angebrachte Höhlung *g g r* führt, von wo aus der verbrauchte Dampf durch ein Rohr *r r*, Fig. 382, in die freie Luft, oder, falls sich ein solcher Apparat an der Maschine befindet, in den Condensator gelangen kann. Die hohle Seite des Schiebers liegt stets nach dem Cylinder hingekehrt, und seine Seitenflächen, mit denen er auf dem Boden der Kammer *K K* hin- und hergleitet, müssen sehr sorgfältig und eben abgeschliffen sein, damit bei seiner Bewegung der Dampf nicht zwischen diese Seitenflächen und ihre Unterlage unter den Schieber eindringen könne. Der Schieber muss mit den beiden seinen Hub begränzenden Gleitflächen so hoch sein, dass er, wie in Fig. 381, in seiner mittleren Stellung die beiden äusseren Spalten der Steuerkammer vollständig und genau überdeckt.

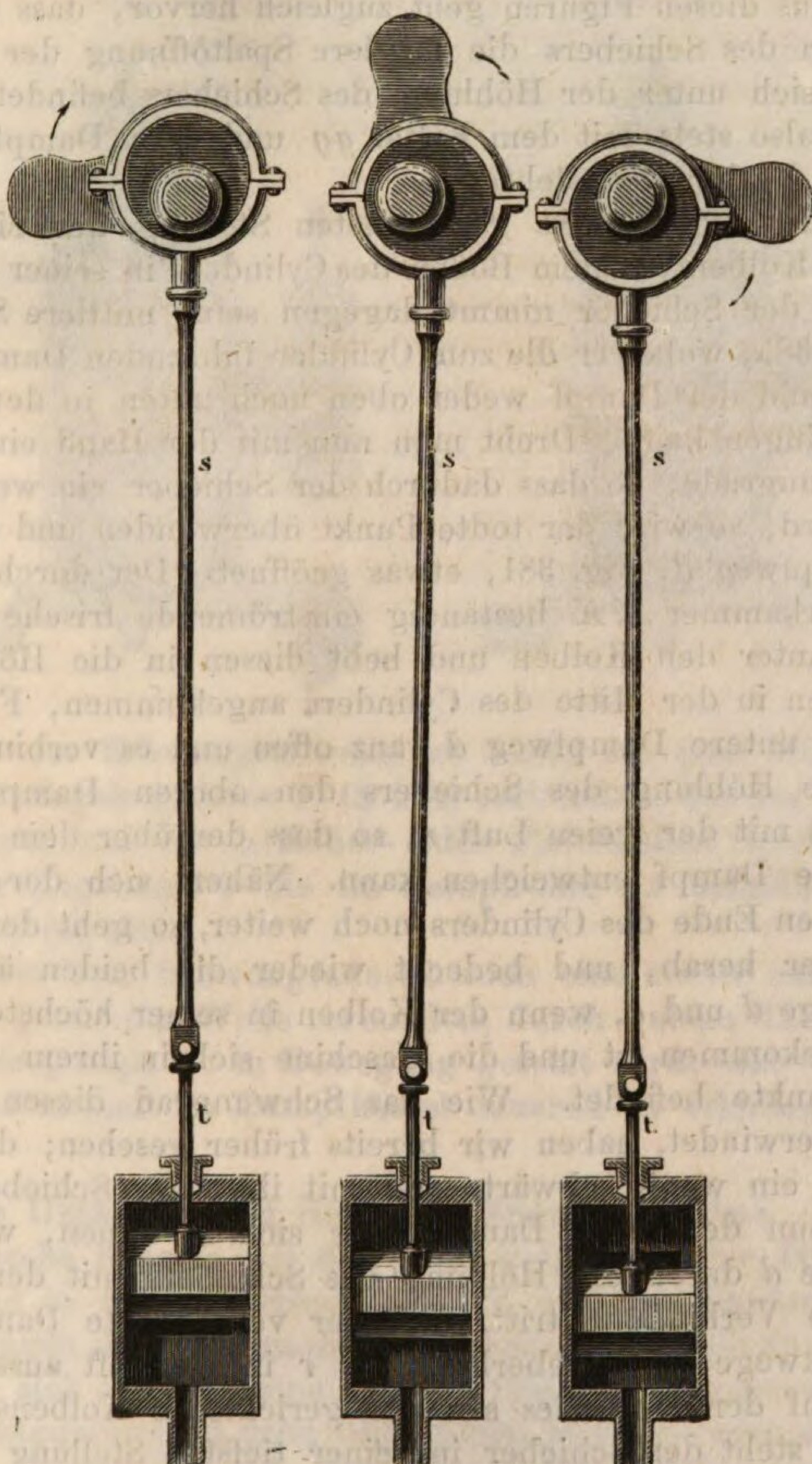
Fig. 383.



Die Figuren 384, 385, 386 zeigen sowohl das Innere der Steuerkammer, als auch den darin liegenden Schieber in seinen Hauptstellungen und seinem Zusammenhange mit der excentrischen Scheibe und der Kurbel. In Fig. 384 hat der Schieber und die Excentricität (die Entfernung des Mittelpunktes der Scheibe von dem Mittelpunkte der Welle) die höchste Stellung,

die untere Spalte der Steuerkammer, also der untere Dampfweg *d* (Fig. 381) ist ganz offen (in der Figur schwarz gezeichnet)

Fig. 384. Fig. 385. Fig. 386.



und die Kurbel steht seitwärts, wie in Fig. 382. In der Fig. 385 bedeckt der Schieber mit seinen Rändern die beiden äusseren Spalten der Steuerkammer, mithin verschliesst er die beiden Dampfwege *d* und *e*; die Excentricität steht seitwärts. In der

Fig. 386 befindet sich der Schieber und die Excentricität in der tiefsten Stellung; der obere Dampfweg *e* ist ganz offen und die Excentricität steht wieder entgegengesetzt zu Fig. 384 seitwärts. Aus diesen Figuren geht zugleich hervor, dass in allen Stellungen des Schiebers die mittlere Spaltöffnung der Steuerkammer sich unter der Höhlung des Schiebers befindet, diese Höhlung also stets mit dem Kanal *gg* und dem Dampfabflussrohr *r* in Verbindung steht.

Bei der in Fig. 381 gezeichneten Stellung der Maschine steht der Kolben auf dem Boden des Cylinders in seiner tiefsten Stellung, der Schieber nimmt dagegen seine mittlere Stellung ein, Fig. 385, wobei er die zum Cylinder führenden Dampfwege absperrt und der Dampf weder oben noch unten in den Cylinder eindringen kann. Dreht man nun mit der Hand ein wenig am Schwungrade, so dass dadurch der Schieber ein wenig gehoben wird, so wird der todte Punkt überwunden und der untere Dampfweg *d*, Fig. 381, etwas geöffnet. Der durch *z z* in die Steuerkammer *K K* beständig einströmende frische Dampf gelangt unter den Kolben und hebt diesen in die Höhe. Ist der Kolben in der Mitte des Cylinders angekommen, Fig. 387, so ist der untere Dampfweg *d* ganz offen und es verbindet zugleich die Höhlung des Schiebers den oberen Dampfweg *e*, (Fig. 381) mit der freien Luft *r*, so dass der über dem Kolben befindliche Dampf entweichen kann. Nähert sich der Kolben dem oberen Ende des Cylinders noch weiter, so geht der Schieber wieder herab, und bedeckt wieder die beiden äusseren Dampfwege *d* und *e*, wenn der Kolben in seiner höchsten Stellung angekommen ist und die Maschine sich in ihrem zweiten todten Punkte befindet. Wie das Schwungrad diesen todten Punkt überwindet, haben wir bereits früher gesehen; der Kolben geht ein wenig abwärts und mit ihm der Schieber. Es beginnt nun der obere Dampfweg *e* sich zu öffnen, während der untere *d* durch die Höhlung des Schiebers mit dem Luftrohr *r* in Verbindung tritt, und der verbrauchte Dampf auf dem Rückwege *d*, Schieberhöhlung, *r* in die Luft ausströmen kann. Auf der Mitte des abwärts gerichteten Kolbenschubes, Fig. 388, steht der Schieber in seiner tiefsten Stellung wie in Fig. 386; der Dampf strömt wieder mit ganzer Fülle in den Cylinder ein und bringt den Kolben bis in seine tiefste Stellung, wogegen der unter dem Kolben befindliche verbrauchte Dampf in der Richtung des Pfeiles unter den Schieber eindringt und von da in das Luftrohr gelangt. Von nun an wiederholt sich

das Spiel dieser Theile ununterbrochen, so lange durch *z z* frischer Dampf einströmen kann.

Fig. 387.

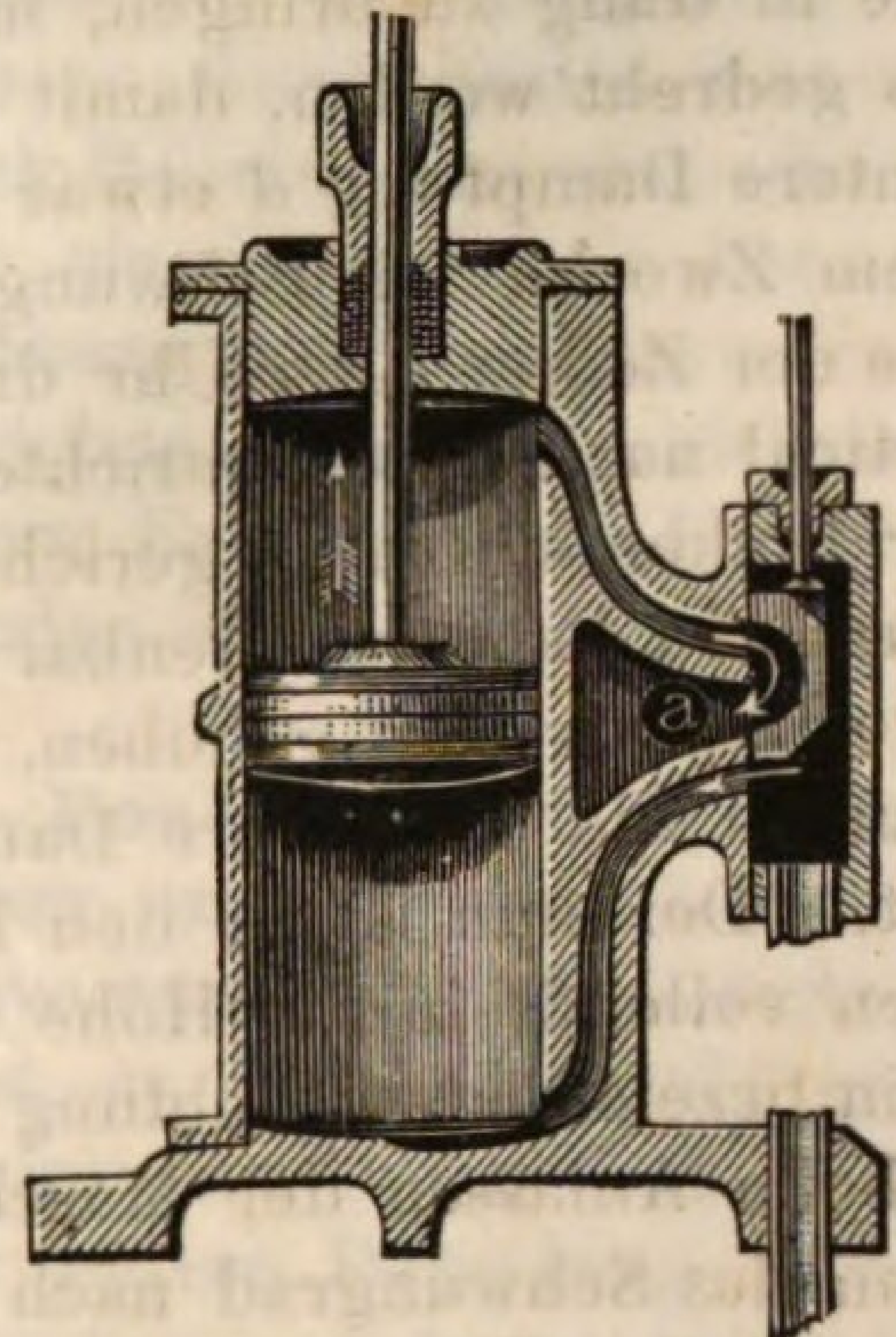
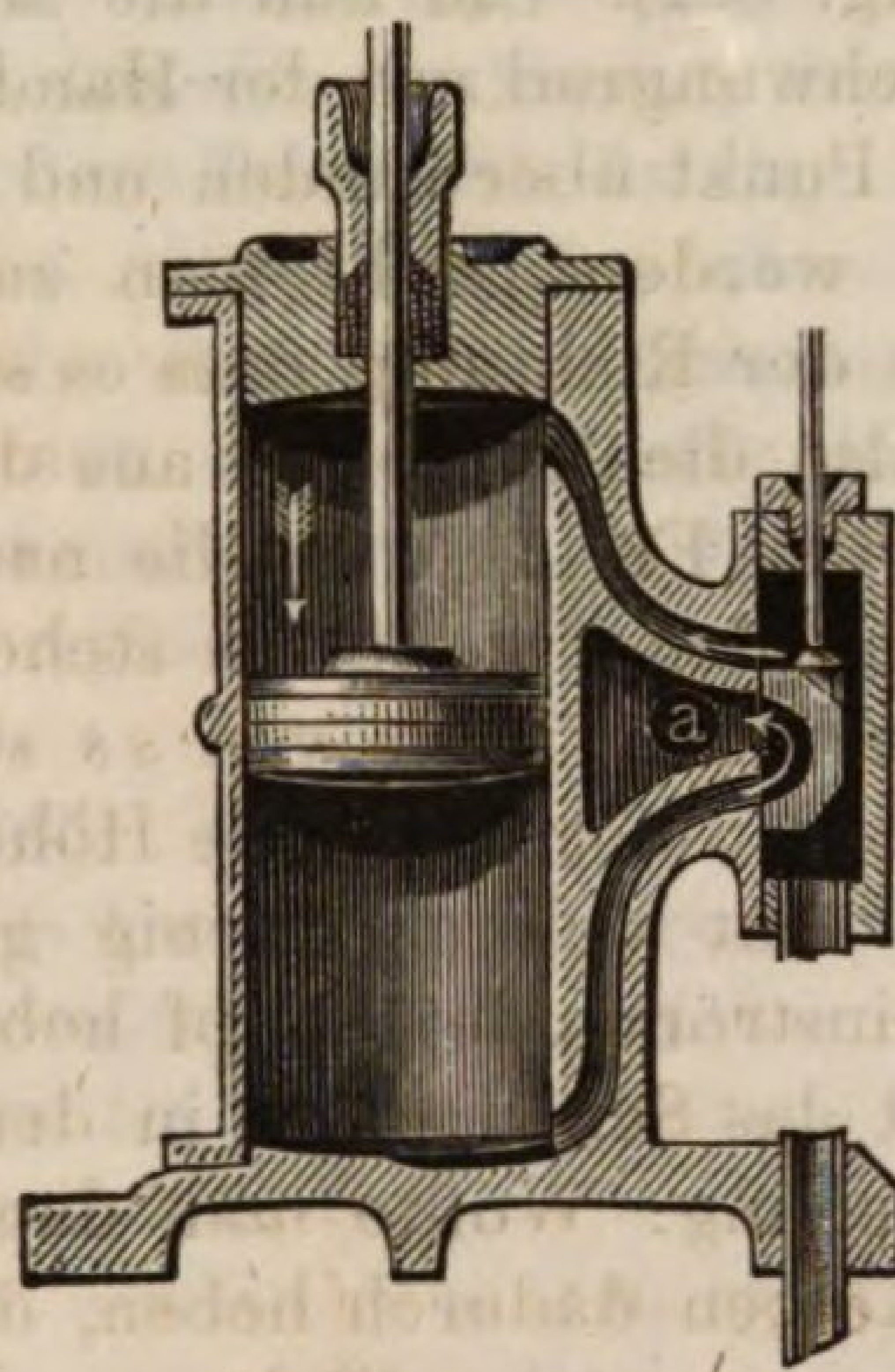


Fig. 388.



Mit der Schwungradwelle ist durch ein paar Winkelräder ein Centrifugalregulator *V* (§. 248) verbunden, der auf die Hülse *h* einwirkt und durch Höher- oder Tieferstellen derselben mittelst der Zugstange *b* die im Dampfrohre *z z* befindliche Drosselklappe regulirt.

Hinter dem Schwungrade ist noch eine zweite excentrische Scheibe *g* mit der Welle verbunden, durch welche das Gestänge der Speisepumpe *o o* in Bewegung gesetzt wird, um den richtigen Wasserstand im Dampfkessel dauernd zu erhalten.

Die Umsteuerung der Hochdruckmaschine. Wenn die 250
excentrische Scheibe mit den übrigen Gliedern der Hochdruckmaschine in fester Verbindung steht und demgemäss an allen Bewegungen des Kolbens und der Schwungradwelle Theil nimmt, so kann sich die Maschine nur in einer Richtung bewegen, und eine Umsteuerung ist dann nicht möglich. Um dieses sofort einzusehen, betrachten wir die Stellung der Maschinentheile, wie sie Fig. 381 zeigt. Da der Kolben auf dem Boden des Cylinders und der Schieber in der mittleren Stellung steht, so muss nothwendig beim ersten Anlassen der Maschine der Schieber etwas in die Höhe gehen, damit der Dampf unter den Kolben

eindringen und diesen heben könne. Die Excentricität steht wagerecht, ob rechts oder links von der verticalen Mittellinie der Maschine, hängt von der Richtung ab, in welcher sich die Maschine drehen soll; nehmen wir an, sie stehe zur Linken von *ss* (Fig. 382). Um nun die Maschine in Gang zu bringen, muss das Schwungrad mit der Hand etwas gedreht werden, damit der todte Punkt überwunden und der untere Dampfweg *d* etwas geöffnet werde. Dreht man zu diesem Zwecke das Schwungrad *xx* in der Richtung, dass es sich wie der Zeiger einer Uhr dreht und also die Kurbel *Q* aus der vertical nach unten gerichteten Lage der Fig. 381 in die nach der Linken seitwärts gerichtete Stellung der Fig. 382 zu stehen kommt, so hat sich offenbar die auf der linken Seite von *ss* stehende Excentricität gehoben, der Schieber ist etwas in die Höhe gegangen und der untere Dampfweg *d* hat sich ein wenig geöffnet. Der nun unter den Kolben einströmende Dampf hebt diesen vollends in die Höhe und bringt das Schwungrad in der vorhin bezeichneten Richtung zur Umdrehung. Wollte man dagegen beim Anlassen der Maschine den Kolben dadurch heben, dass man das Schwungrad nach der entgegengesetzten Richtung drehte, und der Bläuel *P* nebst der Kurbel *Q* rechts von *ss* zu stehen kämen, so würde sich offenbar die auf der linken Seite von *ss* stehende Excentricität senken; der Schieber würde herabgehen und den oberen Dampfweg *e* öffnen. In Folge hiervon aber würde der oberhalb des Kolbens einströmende Dampf diesen sofort wieder in seine alte Stellung auf den Boden des Cylinders zurückdrücken und das Schwungrad nicht zum Umdrehen bringen. Wenn dagegen die excentrische Scheibe so auf der Welle befestigt worden wäre, dass bei der Stellung des Kolbens auf dem Boden des Cylinders die Excentricität auf der **rechten** Seite von *ss* sich befände, so hätte die Maschine die letztere Bewegungsrichtung annehmen müssen; eine Drehung in dem zuerst genannten Sinne wäre dann aber nicht möglich gewesen. Man sieht hieraus, dass es von der Stellung der excentrischen Scheibe abhängt, ob die Maschine sich nach der einen oder nach der anderen Richtung drehen soll.

Um also die Maschine umsteuern zu können, muss auf die eine oder die andere Weise die Einrichtung getroffen werden, dass die excentrische Scheibe sich unabhängig von den übrigen Gliedern der Maschine um 180 Grad verstellen lasse, oder, was auf dasselbe hinauskommt, dass die sämmtlichen zusammenhängenden Maschinentheile sich um 180 Grad drehen lassen, ohne

das Excentrik mitzunehmen. Da das Versetzen des Excentriks um 180 Grad mit manchen Uebelständen verbunden ist, so wendet man statt dessen lieber zwei auf der Schwungradwelle dicht hinter einander stehende und um 180 Grad von einander verschobene, also entgegengesetzt gerichtete excentrische Scheiben an, deren Enden man so mit einander verbindet, dass man nach Belieben das eine oder das andere Excentrik auf den Schieber einwirken lassen kann. Es ist klar, dass bei dieser Einrichtung die Maschine vorwärts oder rückwärts gehen muss, je nachdem man die Schieberstange mit dem einen oder dem anderen Excentrik in Verbindung bringt. Bei der Locomotive werden wir diese Steuerung noch näher kennen lernen.

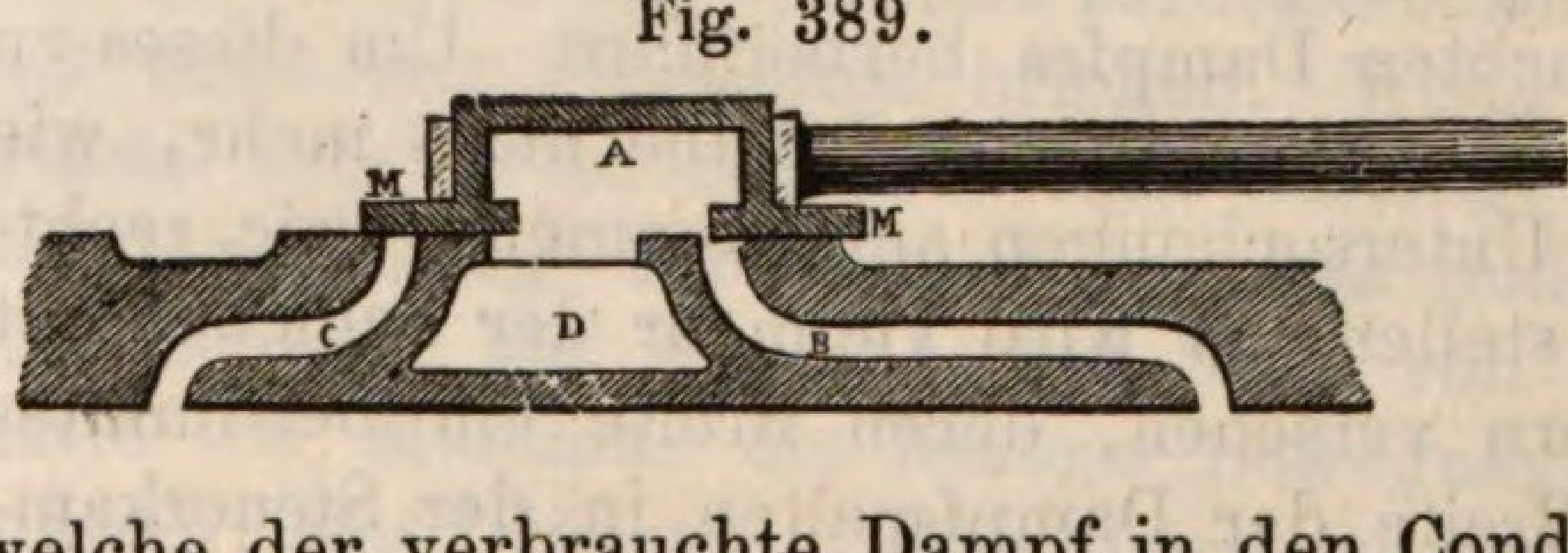
Das Voreilen des Schiebers. Wenn man, wie wir es 251
bisher angenommen haben, den Schieber durch eine auf der Schwungradwelle befestigte excentrische Scheibe in Bewegung setzt, so öffnet und schliesst er die Dampfwege nicht plötzlich, sondern nach und nach. Es ist aber offenbar von Vortheil, dass der untere Dampfweg, wenn der Kolben auf dem Boden des Cylinders angekommen ist, sich sofort ganz öffne, damit der neueinströmende Dampf ungehindert in den Cylinder eindringen und mit aller Stärke auf den Kolben wirken könne. Der Schieber muss daher den Dampfweg schon zu öffnen anfangen, bevor der Kolben am Ende seines Laufes angekommen ist, und ebenso ist es vortheilhaft, dass der Schieber vor vollendetem Kolbenhube den Dampfzutritt absperre, und statt dessen die Abführung des verbrauchten Dampfes herbeiführe. Um dieses zu erreichen, darf man die excentrische Scheibe nicht mehr, wie es bei den bisherigen Untersuchungen angenommen wurde, rechtwinklig zur Kurbel stellen; es wird vielmehr der Schieber mit Ueberdeckungsrändern versehen, deren Breite ein bestimmtes Verhältniss zu der Breite der Dampfspalten in der Steuerkammer hat, und das Excentrik wird in einem spitzen Winkel zu derjenigen Stellung befestigt, welche es bei einem gewöhnlichen Schieber ohne Ueberdeckung eingenommen haben würde. Man nennt diese das zeitigere Eröffnen und Schliessen der Dampfwege bezweckenden Einrichtungen das Voreilen des Schiebers, und bezeichnet den genannten Winkel mit dem Namen des Voreilungswinkels des Excentriks. Nach den hierüber angestellten Untersuchungen hat sich das zeitigere Oeffnen des Dampfabführungsweges als besonders vortheilhaft erwiesen; bei den bestehenden besseren Maschinen ergiebt sich, dass das Vor-

eilen des Schiebers auf der Seite des Abflusses $1/_{25}$ bis $1/_{15}$ ist, d. h. dass der Schieber bei tiefstem oder höchstem Kolbenstande auf der Rückseite des Kolbens eine Abflussöffnung herstellt, deren Höhe $1/_{25}$ bis $1/_{15}$ von dem ganzen Wege des Schiebers ist. Das Voreilen des Schiebers auf der Seite des Dampfzutrittes ist dagegen viel kleiner und beträgt oft nur $1/_{100}$ des ganzen Schieberweges.

252 **Die Expansionsmaschine. Expansionsschieber.** Das Wesen und die grossen Vortheile der Expansion des Dampfes haben wir bereits in §. 241 erörtert. Wir haben es daher hier nur mit den Vorrichtungen der Steuerung zu thun, durch welche es dem in dem Cylinder befindlichen Dampfe gestattet wird, nach irgend einem bestimmten Theile des Kolbenhubes sich zu expandiren; in allen anderen Theilen stimmen die Expansionsmaschinen mit den anderen Dampfmaschinen vollständig überein.

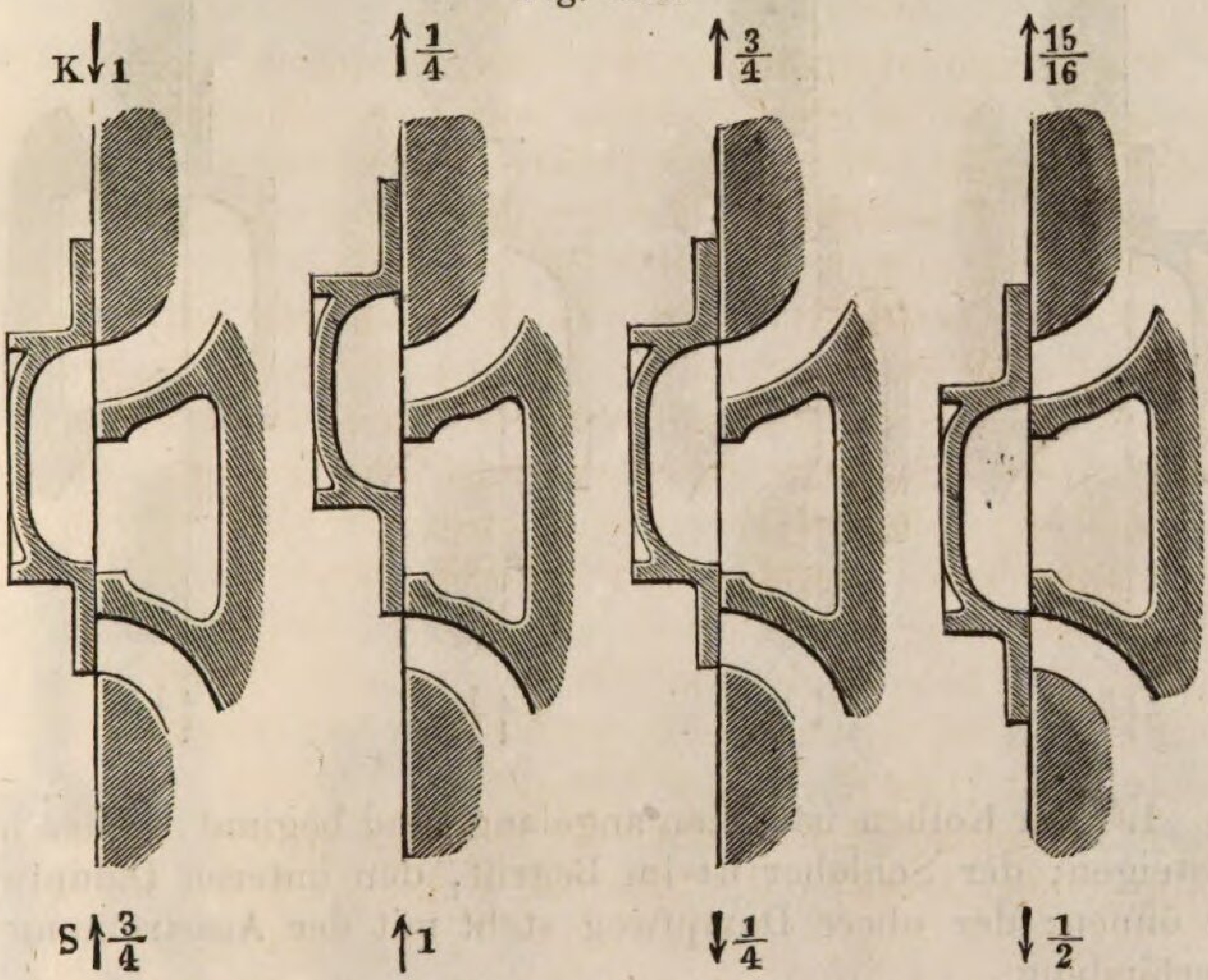
Zu den einfachsten Schiebervorrichtungen dieser Art gehört der Expansionsschieber von Clapeyron, der wie die früher beschriebenen gewöhnlichen Schieber durch ein Kreisexcentrik in Bewegung gesetzt wird. Derselbe unterscheidet sich nur dadurch von den Volldruckschiebern, dass seine Endflächen mit Bedeckungen versehen sind, wodurch er bei seinem mittleren Stande nicht bloss die beiden Dampfwege bedeckt, sondern mit seinen Bedeckungen noch über die Dampfspalten in der Dampfkammer hinausgreift. Die Fig. 389 zeigt einen solchen Schieber; *C*, *B* sind die aus der Steuerkammer nach dem Cylinder führenden Dampfwege, *D* die Oeffnung, durch welche der verbrauchte Dampf in den Condensator oder an die freie Luft gelangt. *A* ist der Schieber, dessen Ränder mit den Bedeckungen *M*, *M* versehen sind. Da ein solches Stück viel breiter ist, als der Dampfweg *C* und *B*, so kann es auch bei der fortdauernden Bewegung des Schiebers den Dampfweg eine Zeit lang geschlossen halten, ohne denselben mit der Abflussöffnung in Verbindung zu bringen. Das Excentrik muss dann gegen die Kurbel so gestellt werden, dass der Dampfweg unmittelbar vor dem Ende des Kolbenschubes geöffnet wird. In diesem Falle wird der Dampf während eines Theiles des Kolbenweges mit vollem Druck in den Cylinder einströmen, bald darauf

Fig. 389.



aber, wenn die Schieberbedeckung den Dampfweg schliesst, von dem Cylinder abgesperrt werden, so dass nun während des übrigen Theiles des Kolbenschubes der abgesperrte Dampf durch Expansion wirkt. Die einzelnen Stellungen dieses Schiebers und seine Beziehungen zu dem Kolbenstande lassen sich für den Niedergang des Kolbens aus Fig. 390 leicht übersehen.

Fig. 390.



1. Es steht der Kolben oben; der Schieber ist in Begriff, den oberen Dampfweg zu öffnen, der untere Dampfweg steht mit der Ausströmung in Verbindung.

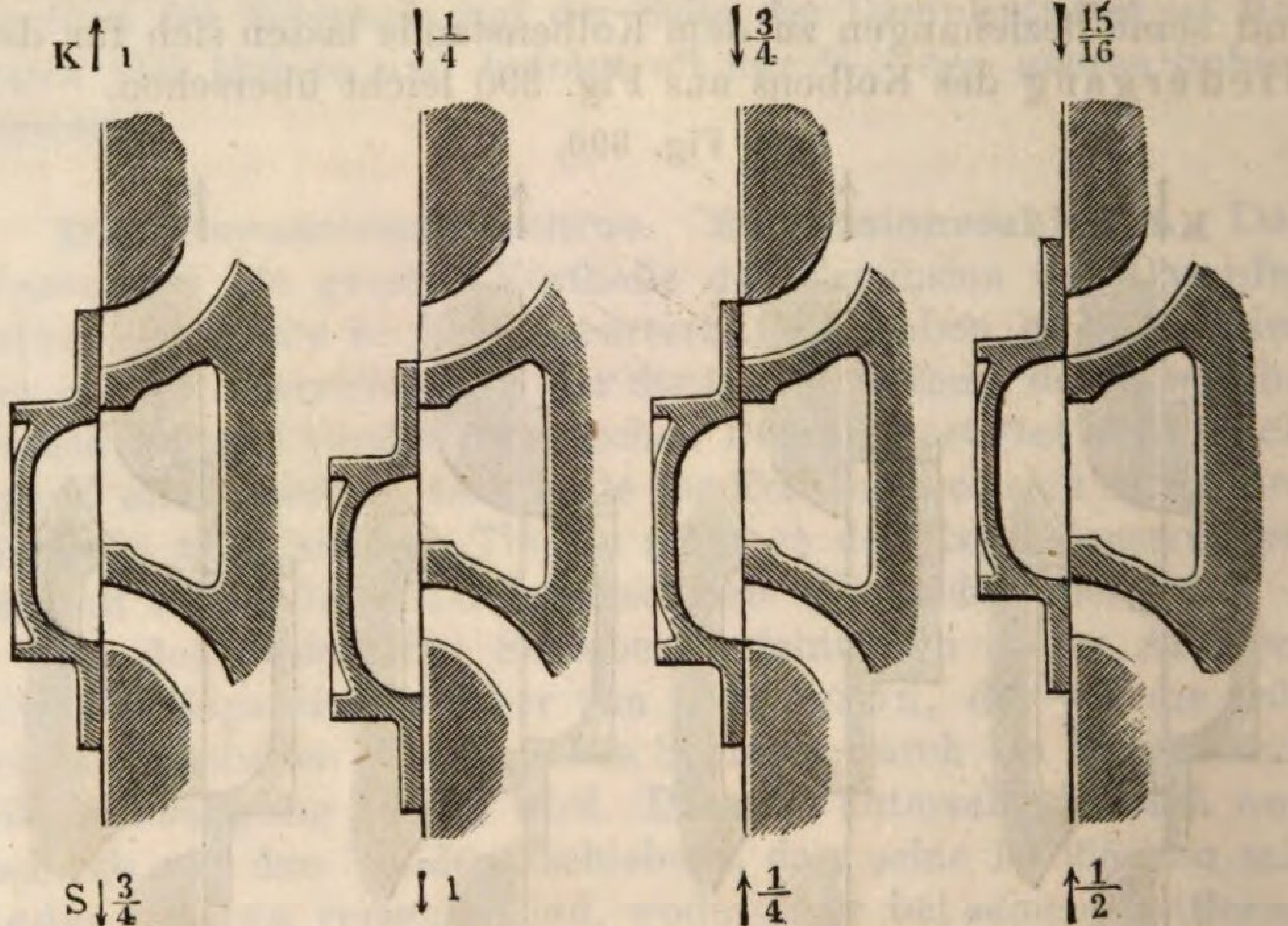
2. Es hat der Kolben $^1/_4$ seines Niederganges zurückgelegt; der obere Dampfweg ist ganz offen, der untere mit der Ausströmung in Verbindung; der Schieber nach unten ganz ausgeschoben.

3. Es hat der Kolben $^3/_4$ seines Niederganges durchlaufen; der obere Dampfweg ist geschlossen, die Expansion beginnt; der untere Dampfweg steht immer noch mit der Ausströmung in Verbindung.

4. Es hat der Kolben $^{15}/_{16}$ seines Niederganges zurückgelegt, die Expansion hat bis jetzt fortgedauert; beim weiteren Fortrücken des Kolbens und des Schiebers beginnt das Ausströmen und der untere Dampfweg ist ausser Verbindung mit der Ausströmung gekommen.

Für das Aufsteigen des Kolbens zeigt Fig. 391 die entsprechenden Beziehungen zwischen Schieber und Kolben.

Fig. 391.



1. Der Kolben ist unten angelangt und beginnt wieder aufzusteigen; der Schieber ist im Begriff, den unteren Dampfweg zu öffnen; der obere Dampfweg steht mit der Ausströmung in Verbindung.

2. Der Kolben hat $1/4$ seines Hubes vollendet; der Schieber ist ganz nach oben ausgeschoben, der untere Dampfweg ganz offen und der obere mit der Ausströmung in Verbindung.

3. Der Kolben hat $3/4$ seines Hubes zurückgelegt; der untere Dampfweg ist geschlossen, die Expansion beginnt, der obere Dampfweg ist noch in Verbindung mit der Ausströmung.

4. Der Kolben ist auf $15/16$ seines Hubes angekommen; bis dahin hat die Expansion gedauert; beim weiteren Fortrücken des Kolbens nach oben und des Schiebers nach unten beginnt das Ausströmen des Dampfes, dagegen ist die Ausströmung aus dem oberen Dampfwege abgesperrt.

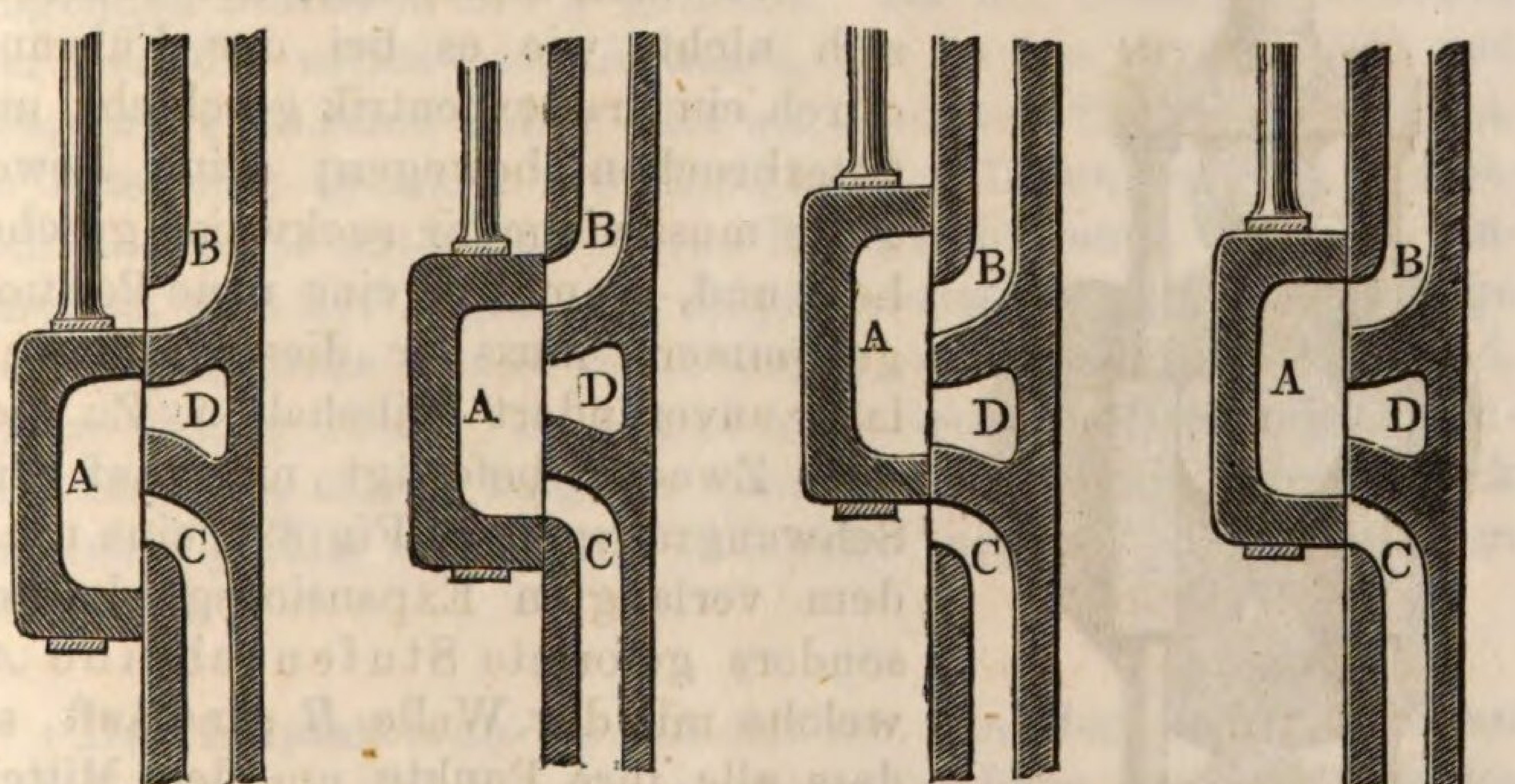
Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass nach $15/16$ des Kolbenweges der ausströmende verbrauchte Dampf von der Ausströmung abgesperrt, also im Cylinder eingesperrt wird; allein da diese Einsperrung nur sehr kurze Zeit dauert und die Span-

nung des eingesperrten Dampfes, der ja bis dahin stets zu der Ausströmung gelangen konnte, äusserst gering ist, so hat dieses nur wenig Nachtheil. Grösser ist der Nachtheil, der aus der verfrühten Beendigung der Expansion hervorgeht, die in dem vorliegenden Falle bloss auf $^3/_{16}$ des Kolbenschubes wirkt, statt auf $^4/_{16}$ oder $^1/_4$ desselben anzudauern.

Damit der Expansionsschieber in der eben besprochenen Weise wirken könne, muss das Excentrik einen Voreilungswinkel von 30 Grad haben.

Expansionsschieber mit Stufenscheibe. Will man den 253
gewöhnlichen Muschelschieber ohne Ueberdeckungsränder als Expansionsschieber anwenden, so muss er seine Bewegung auf ganz andere Weise, als wie es durch ein Kreisexcentrik geschieht, ausführen. In Fig. 392 bis 395 bezeichnet *A* den gewöhnlichen Muschelschieber, *B* den oberen, *C* den unteren zum Cylinder

Fig. 392. Fig. 393. Fig. 394. Fig. 395.

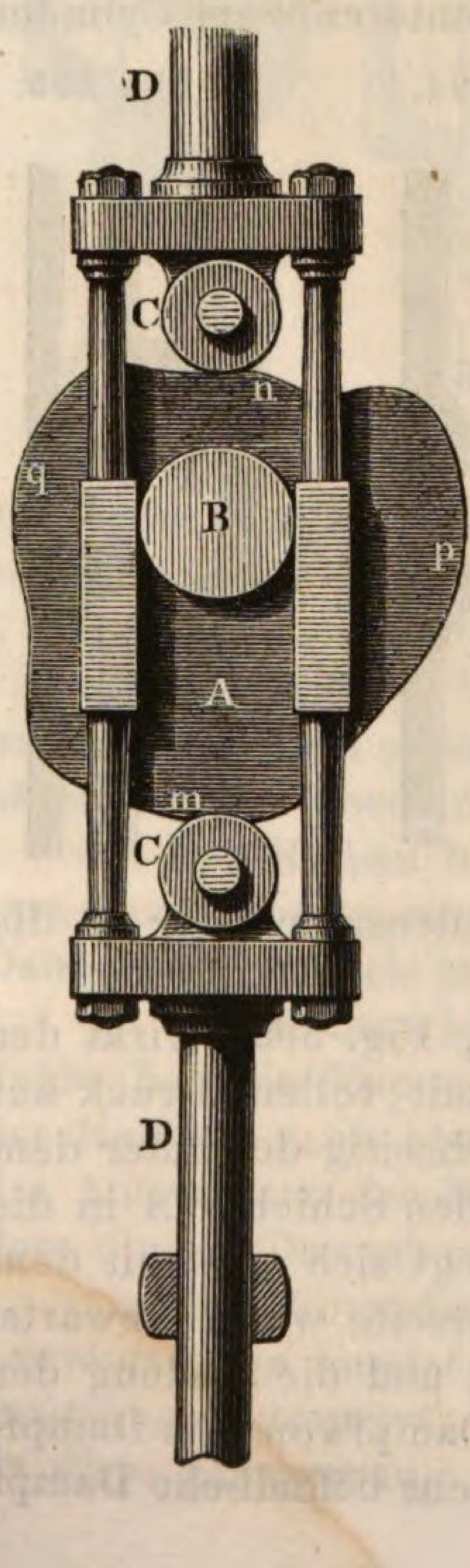


führenden Dampfweg, *D* die in den Condensator oder an die freie Luft führende Ausströmungsöffnung.

In der ersten Stellung des Schiebers, Fig. 392, wirkt der Dampf aus der Steuerkammer durch *B* mit vollem Druck auf die obere Seite des Kolbens, während gleichzeitig der unter dem Kolben befindliche Dampf durch *C* unter den Schieber *A* in die Ausströmung *D* gelangt. Der Kolben bewegt sich also mit dem Ueberdruck des Dampfes, der auf die Oberseite wirkt, abwärts. Wenn der Schieber dann in die Höhe geht und die Stellung der Fig. 393 eingenommen hat, ist der frische Dampf von dem Dampfwege *B* abgesperrt; der oberhalb des Kolbens befindliche Dampf

wirkt von nun an durch Expansion, während der unter dem Kolben befindliche Dampf ungehindert immer noch durch C und die Schieberhöhlung A nach der Ausströmung D gelangen kann. Durch die Expansion des Dampfes wird der Kolben bis ans Ende seines Schubes gebracht; wenn dann in dem Augenblicke, wo er auf dem Boden des Cylinders angekommen ist, der Schieber weiter in die Höhe geht und die Stellung der Fig. 394 einnimmt, so gelangt der frische Dampf durch C unter den Kolben, während der verbrauchte über dem Kolben befindliche Dampf durch B und A in die Ausströmung gelangt. Wenn endlich der Schieber wieder herabgeht und die Stellung der Fig. 395 einnimmt, so ist der Dampfweg C verschlossen und der unter dem Kolben befindliche Dampf abgesperrt; die Expansion beginnt nun unter dem Kolben und dauert so lange, bis der Kolben seinen Hub vollendet hat und der Schieber wieder in die Stellung der Fig. 392 übergeht.

Fig. 396.



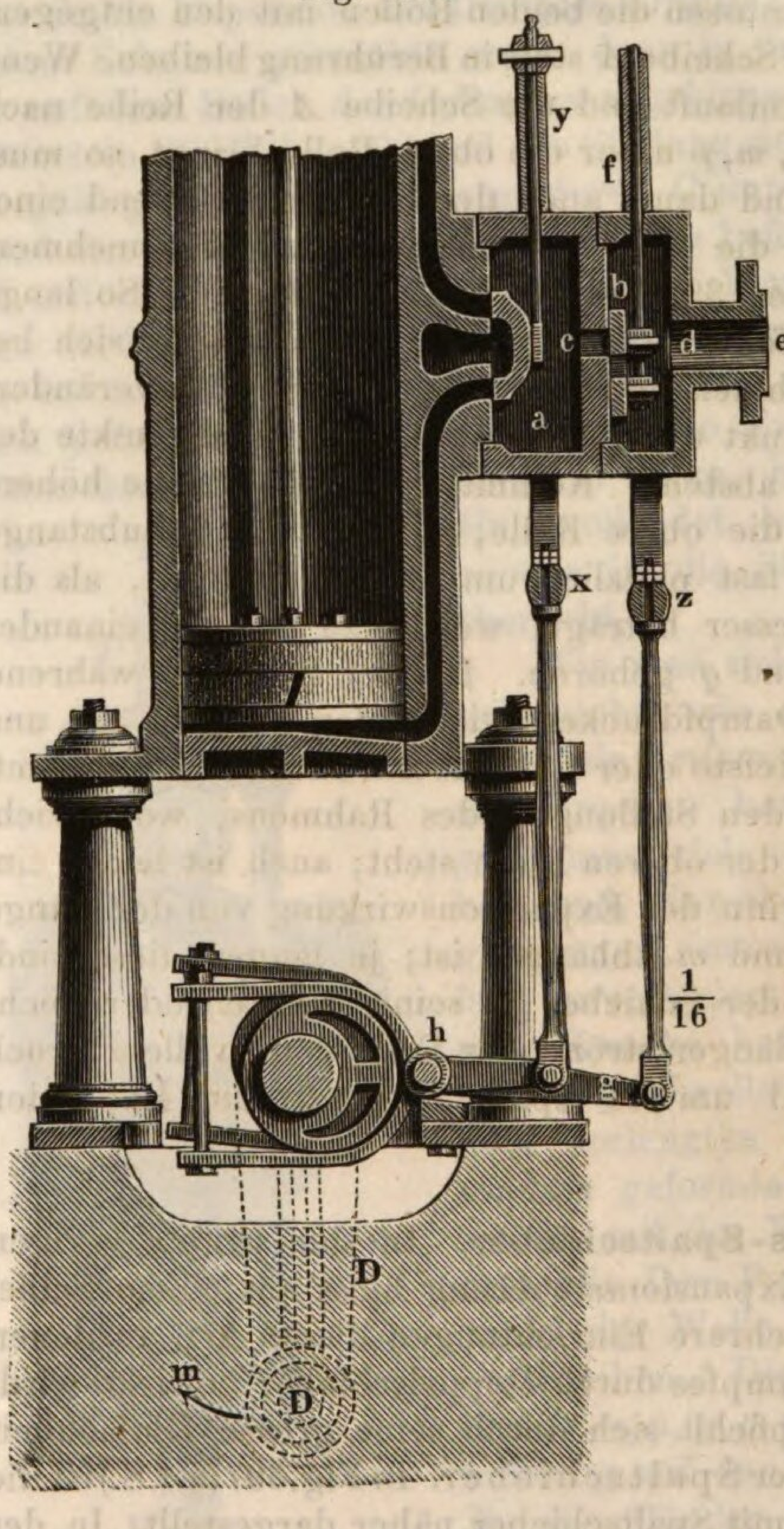
Wie man sieht, darf der Schieber sich nicht, wie es bei der Führung durch ein Kreisexcentrik geschieht, ununterbrochen bewegen; seine Bewegung muss vielmehr ruckweise geschehen, und, einmal in eine neue Position gekommen, muss er diese eine Zeit lang unverändert beibehalten. Zu diesem Zwecke befestigt man auf die Schwungradwelle B, Fig. 396, eine nach dem verlangten Expansionsgrade besonders geformte Stufenscheibe A, welche mit der Welle B rundläuft, so dass alle ihre Punkte um den Mittelpunkt der Welle concentrische Kreise beschreiben. Die Scheibe A hat vier Stufen m, n, p, q von ungleichen Höhen in Bezug auf den Mittelpunkt der Welle B; die Ränder derselben sind nach Kreisbogen gekrümmt, deren Mittelpunkte in der Achse der Welle B liegen. Die Stangen DD, von denen die eine die Schieberstange bildet, die andere aber bloss durch eine Führungsbüchse geht, sind an den schmaleren

Seiten eines Rahmens befestigt, in welchem zwei Leitrollen *C*, *C* angebracht sind. Da die durch den Mittelpunkt der Welle *B* gemessene Breite (Durchmesser) der Stufenscheibe *A* überall dieselbe Ausdehnung hat, so müssen die beiden Rollen mit den entgegengesetzten Rändern der Scheibe *A* stets in Berührung bleiben. Wenn daher die Welle *B* umläuft und die Scheibe *A* der Reihe nach die Bogenstücke *n*, *q*, *m*, *p* unter die obere Rolle bringt, so muss die Schubstange *D* und damit auch der Schieber während eines Umlaufes der Welle die vier verschiedenen Lagen annehmen, welche in den Figuren 392 bis 395 verzeichnet sind. So lange eine und dieselbe Stufe, z. B. *n*, unter der oberen Rolle sich befindet, bleibt der Rahmen und die Schubstange *D* unverändert stehen, weil jeder Punkt dieser Stufe von dem Mittelpunkte der Drehung gleich weit absteht. Kommt aber darauf eine höhere Stufe, wie *q*, unter die obere Rolle, so wird die Schubstange *D* sehr schnell und fast plötzlich um so viel gehoben, als die Differenz der Halbmesser beträgt, welche zu den auf einander folgenden Stufen *n* und *q* gehören. Da der Schieber während der Zeit des vollen Dampfdruckes, wie in den Figuren 392 und 394, entweder seine tiefste oder seine höchste Stellung einnimmt, so entspricht dieses den Stellungen des Rahmens, wo beziehlich *n* oder *m* unter der oberen Rolle steht; auch ist leicht einzusehen, dass der Beginn der Expansionswirkung von der Länge der Bogenstücke *n* und *m* abhängig ist; je länger diese sind, um so länger bleibt der Schieber in seiner tiefsten oder höchsten Stellung, um so länger strömt der Dampf mit vollem Druck in den Cylinder und um so später beginnt die Expansion desselben.

Der Expansions-Spaltschieber. In den beiden vorigen 254
Fällen bestand die Expansionssteuerung bloss aus einem Schieber; es giebt aber mehrere Einrichtungen dieser Art, in denen die Expansion des Dampfes durch Doppelschieber bewirkt wird, und unter diesen empfiehlt sich durch seine grosse Einfachheit der durchbrochene oder Spaltschieber. In Fig. 397 (a. f. S.) ist die Expansionssteuerung mit Spaltschieber näher dargestellt. In der Dampfbüchse *a* bewegt sich ein ganz gewöhnlicher Muschelschieber ohne Ueberdeckungsränder; vor der Dampfbüchse *a* befindet sich noch eine zweite Dampfkammer *d*, in welche der Dampf durch das Rohr *e* zuerst einströmt; beide Kammern *a* und *d* stehen durch eine Oeffnung *c* mit einander in Verbindung, die etwas höher ist, als die zum Cylinder führenden Dampfwege

sind. Auf der der Kammer *a* zugekehrten Wand der Büchse *d* bewegt sich ein zweiter Schieber *b*, der mit einer der Oeffnung

Fig. 397.



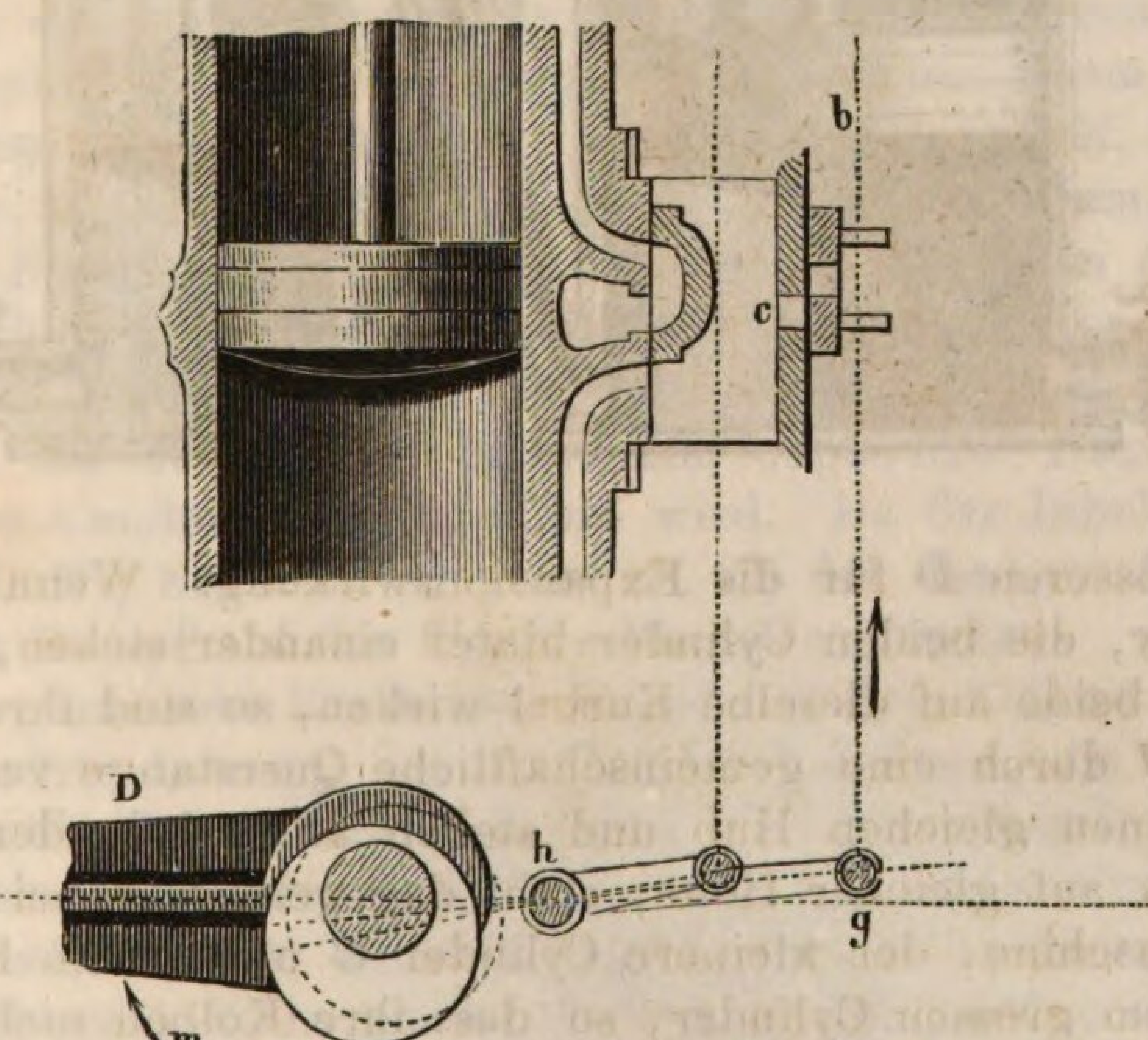
c gleichen Spalte und mit Deckflächen versehen ist, die $1^3/_4$ mal so breit sind als *c* hoch ist. Die Schwungradwelle liegt unter dem Cylinder, und ist mit zwei Excentriks versehen, welche sich in gabelförmigen, um die gemeinschaftliche Achse *h* drehbaren, Hebeln bewegen. Das vordere Excentrik bewegt durch die Schubstange *x y* auf die gewöhnliche Art den Muschelschieber, das dahinter liegende dagegen wirkt durch die Stangen *g*, *zf* auf den Spaltschieber und hat die Expansion des Dampfes zu besorgen. Der Hub des Schiebers *b* ist gleich der dreifachen Höhe der Spalte *c*.

Steht nun, wie in Fig. 397, der Kolben auf dem Boden des Cylinders, und dem entsprechend die Kurbel *DD* in ihrer tiefsten Stellung vertical nach unten, so geht, wenn die Kurbel sich in der Richtung des Pfeiles *m* dreht, bei der nächsten Bewegung der Maschine das vordere Excentrik nach unten; die betreffende Gabel senkt sich, der andere Hebelarm dagegen nebst dem Gestänge *xy* und dem Muschelschieber hebt sich;

der untere Dampfweg wird also geöffnet, und der Kolben geht in die Höhe. Dabei wird durch das hintere Expansionsexcentrik der Hebelarm *g* nebst der Schubstange *zf* ebenfalls gehoben, die Spalte des Expansionsschiebers *b* beginnt vor *c* zu treten, lässt aber noch den Dampf aus der Vorkammer *d* in die Steuerkammer *a* eintreten. Da die Excentricität des letzteren Excentriks um 45^0 gegen die Verticale geneigt ist, so findet bei weiterer Drehung der Kurbel der Abschluss der Oeffnung *c* und damit zugleich der Abschluss des Dampfes von der Kammer *a* auf der Hälfte des Kolbenschubes statt. Von nun an beginnt die Expansion des Dampfes, welcher in dem Cylinder und in der Steuerkammer *a* sich befindet, und dauert, bis der Kolben seinen Hub vollendet hat und der Expansionsschieber *b* bei seinem Rückweg nach unten die Oeffnung *c* wieder frei macht. Der frische Dampf kann dann aus der Vorkammer *d* wieder in die Steuerkammer *a* einströmen, durch den inzwischen geöffneten oberen Dampfweg in den Cylinder gelangen und den Kolben herabdrücken.

Die Fig. 398 zeigt die Stellung der einzelnen Theile für den Moment, wo auf der Hälfte des Kolbenweges die Dampfabsper-

Fig. 398.

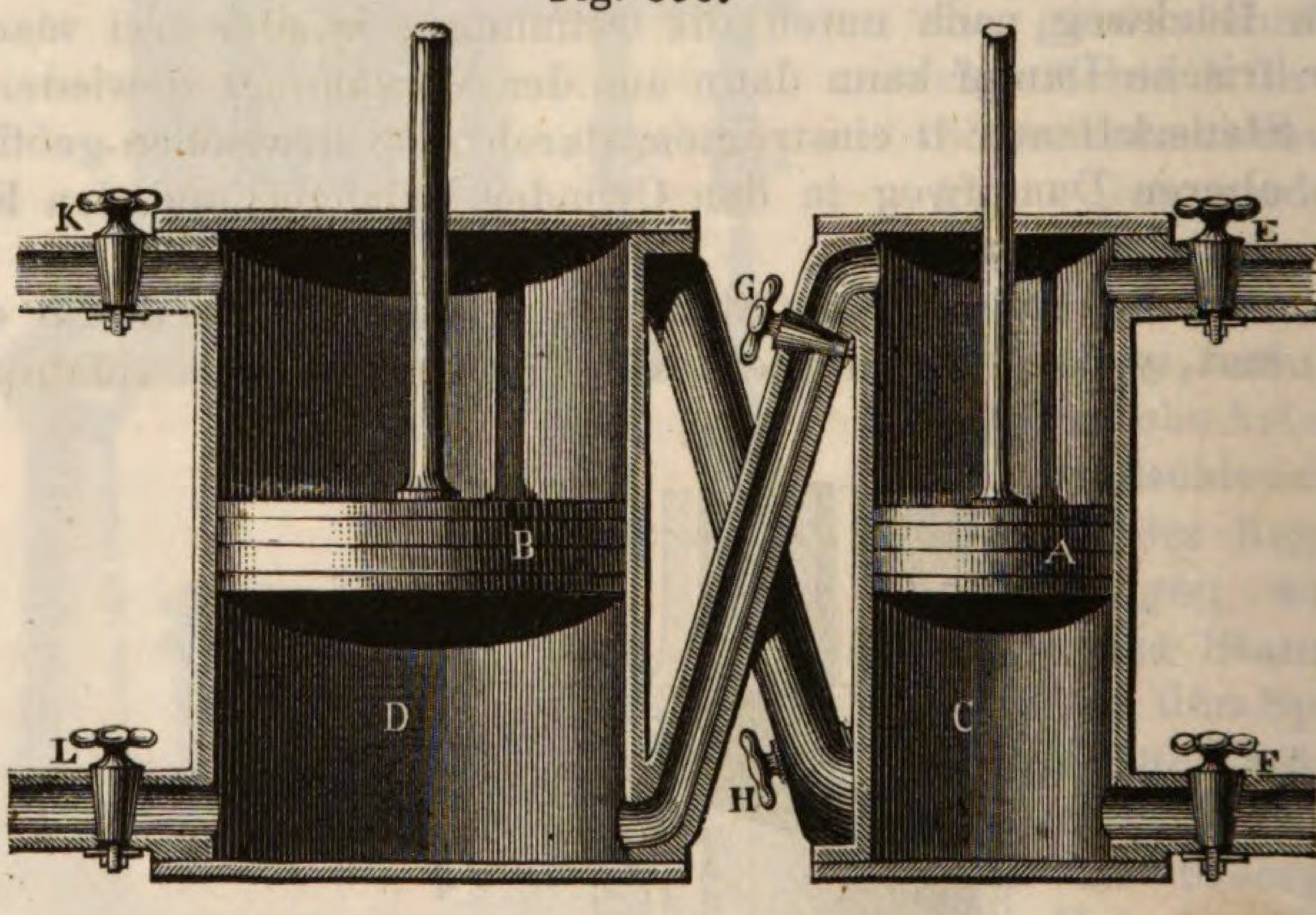


rung erfolgt. Die Kurbel steht von der früheren Richtung um 90^0 verschieden, also wagerecht; die Excentricität des Muschelschiebers steht vertical abwärts, der Schieber selbst in der höchsten Stellung, der untere Dampfweg ganz offen. Die Excen-

tricität des Expansionsschiebers steht um 45° nach unten, der Schieber *b* geht in die Höhe und hält die Oeffnung *c* so lange geschlossen, bis die Kurbel und der Kolben oben angekommen sind.

255 **Die Woolf'sche Expansions-Maschine.** Zu den Expansionsmaschinen gehört auch die bereits im Jahre 1804 von Arthur Woolf construirte Maschine mit zwei Cylindern. Dieselbe ist eine Hochdruckmaschine mit Condensation und Expansion; der Einfachheit wegen sind jedoch bei der folgenden Darstellung alle auf die Condensation Bezug habenden Theile als bekannt weggelassen. Die Woolf'sche Maschine hat zwei Cylinder, einen kleineren *C*, Fig. 399, für den frischen und Volldruckdampf, und

Fig. 399.



einen grösseren *D* für die Expansionswirkung. Wenn, wie in der Figur, die beiden Cylinder hinter einander stehen, so dass sie z. B. beide auf dieselbe Kurbel wirken, so sind ihre Kolben *A* und *B* durch eine gemeinschaftliche Querstange verbunden, haben einen gleichen Hub und stehen allemal in den beiden Cylindern auf gleicher Höhe; steht dagegen, wie bei der Balanciermaschine, der kleinere Cylinder *C* unter dem Balancier neben dem grossen Cylinder, so dass ihre Kolben nicht dieselben Punkte des Balanciers angreifen, so hat der kleinere Kolben natürlich auch einen entsprechend geringeren Hub, als der grössere. Die Steuerung wollen wir uns einstweilen einfach durch Hähne bewirkt denken, und zwar so, dass die Hähne

E, *F* stets frischen Dampf aus dem Kessel bald über, bald unter den kleineren Kolben *A* einführen. Durch die Hähne *G*, *H* kann mittelst zweier Verbindungsrohre der obere Theil des Cylinders *C* mit dem unteren Theile des Cylinders *D*, oder auch der untere Theil des Cylinders *C* mit dem oberen Theile des Cylinders *D* in Communication treten; durch die Hähne *K*, *L* endlich gelangt der verbrauchte Dampf in den Condensator.

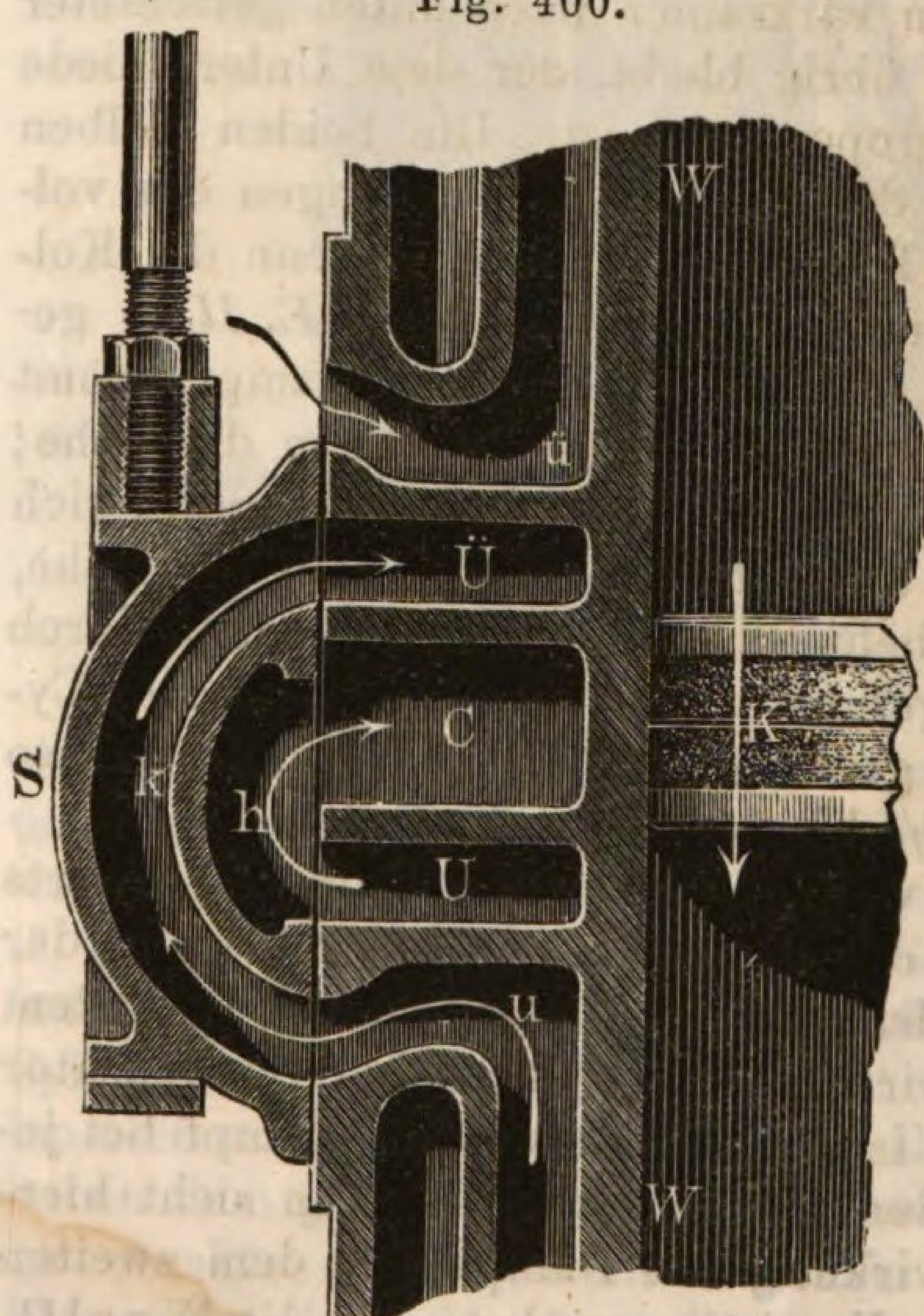
Wenn die Hähne *E*, *H*, *L* offen, die anderen dagegen geschlossen sind, strömt der frische Dampf aus dem Kessel durch *E* oberhalb des Kolbens *A* in den Cylinder *C* ein und treibt den Kolben *A* abwärts. Der Dampf, der bereits früher gewirkt hatte und sich unterhalb des Kolbens *A* befand, hat sich durch das Rohr *H* in den oberen Theil des Cylinders *D* ausgedehnt und übt gleichzeitig sowohl auf die untere Seite des Kolbens *A*, als auf die obere Seite des Kolbens *B* einen Druck aus. Da jedoch die Oberfläche des letzteren Kolbens grösser ist, als die des ersteren, so ist auch der abwärts gerichtete Druck des expandirten Dampfes gegen *B* grösser als der aufwärts gerichtete Druck gegen *A*, so dass ein wirksamer nach unten gerichteter Druck gegen den Kolben *B* übrig bleibt, der dem Unterschiede der beiden Kolbenflächen proportional ist. Die beiden Kolben bewegen sich daher durch die vereinigten Wirkungen des vollen Dampfdruckes und der Expansion abwärts. Wenn die Kolben unten angekommen sind, werden die Hähne *E*, *H*, *L* geschlossen, dagegen *F*, *G*, *K* geöffnet; der frische Dampf strömt nun bei *F* unter den Kolben *A* ein und treibt ihn in die Höhe; der oberhalb dieses Kolbens befindliche Dampf expandirt sich unter dem Kolben *B* und treibt diesen ebenfalls in die Höhe, während der oberhalb *B* befindliche expandirte Dampf durch *K* in den Condensator abgeführt wird. Da der Inhalt des Cylinders *D* $3\frac{1}{2}$ bis 5mal so gross ist, als der des Cylinders *C*, so wird der Dampf auf das $3\frac{1}{2}$ bis 5fache expandirt.

Die gesammte Kraft, welche die beiden Kolben aufwärts oder abwärts bewegt, ist offenbar weit grösser, als wenn der Cylinder *C* allein vorhanden wäre, und der Dampf, nachdem er in diesem Cylinder gewirkt hat, direct in den Condensator geleitet würde; und doch ist der Verbrauch an Dampf bei jedem Kolbenschube in beiden Fällen derselbe. Man sieht hieraus, dass die Expansionswirkung des Dampfes in dem zweiten Cylinder einen erheblichen Vortheil gewährt, und die Woolf'schen Maschinen bei gleicher Leistungsfähigkeit gegen andere Hoch- und Mitteldruckmaschinen eine bedeutende Ersparniss

an Brennmaterial gewähren. Die Preise einer Hochdruckmaschine von 30 Pferdekräften mit Expansion und einer Woolf'schen Maschine von gleicher Stärke verhalten sich wie 9 : 15, dagegen der Verbrauch an guten Steinkohlen während 24 Stunden für beide Maschinen wie 9 : 4. Während also die Woolf'sche Maschine $1^2/_3$ mal so viel kostet, als die gewöhnliche eincylindrige Hochdruck-Expansionsmaschine, so ist bei der letzteren der tägliche Kohlenverbrauch $2^1/_4$ mal so gross, als bei der Woolf'schen Maschine. Freilich erfordert die Woolf'sche Maschine, da sie zugleich eine Condensationsmaschine ist, einen grossen Verbrauch an Wasser, das sich nicht überall auf eine wenig kostspielige Weise beschaffen lässt.

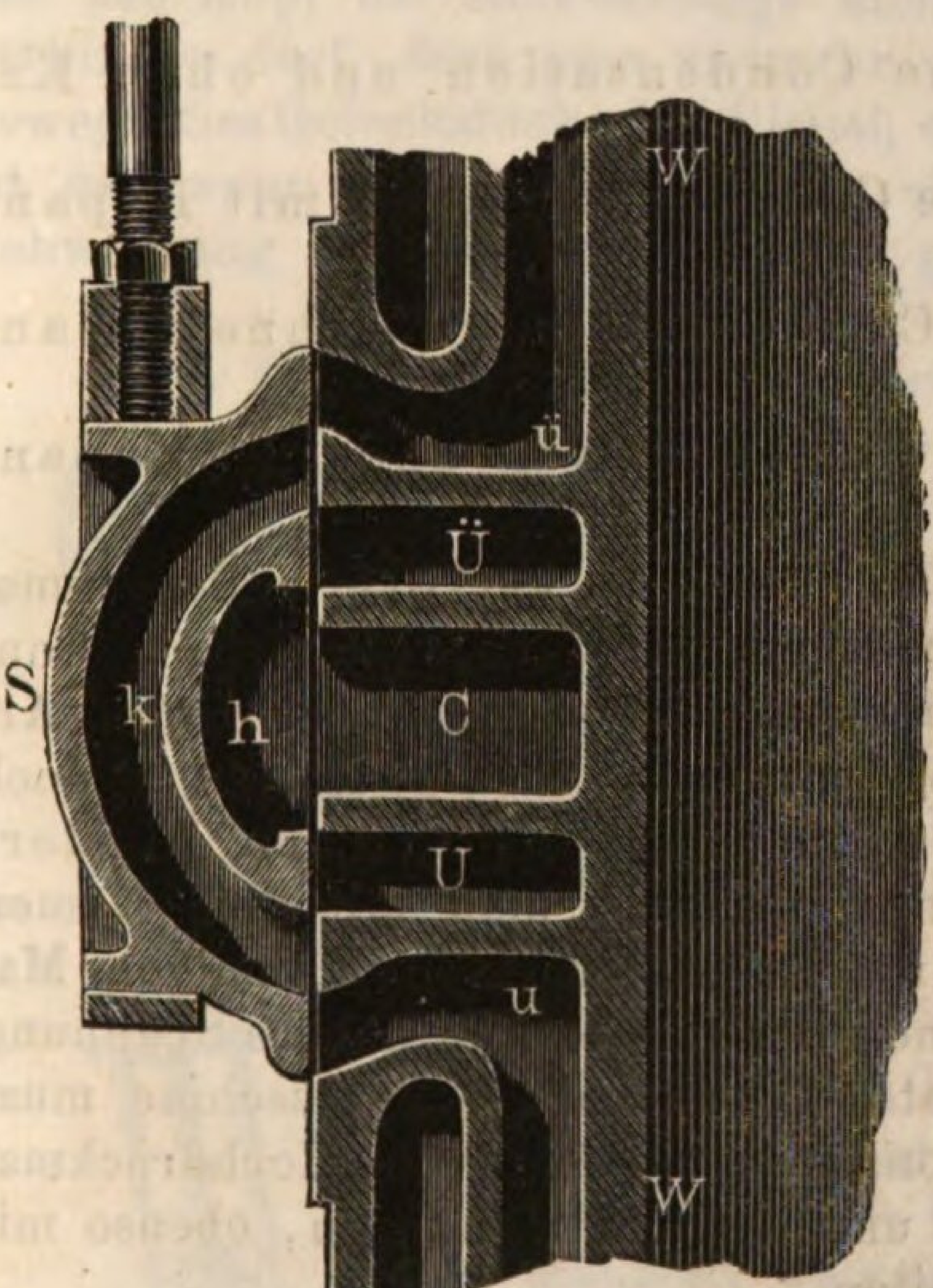
Die Hahnsteuerung, die wir oben angenommen hatten, kommt in der Wirklichkeit nicht vor; auch die Ventilsteuerung wird gegenwärtig nur selten noch angewendet und meistens durch den Hick'schen Doppelschieber ersetzt. Die Fig. 400 zeigt die Einrichtung eines solchen Schiebers und seinen Zusammenhang mit den zu den beiden Cylindern führenden Dampfwegen für seinen tiefsten Stand. In den Boden, über welchen der Schieber gleitet, münden fünf Kanäle *ü*, *u*, *Ü*, *U* und *C*. Von diesen führt *ü* über den kleinen, *Ü* über den grossen Kolben, *u* unter den kleinen, *U* unter den grossen Kolben, und *C* in den Condensator. Der Schieber hat über der gewöhnlichen Muschelhöhlung *h* noch einen Kanal *k*, der an beiden Seiten der Höhlung *h* ausmündet. Die innere Höhlung *h* des Schiebers gehört zu den Dampfwegen *Ü*, *U*, *C*, der äussere Kanal *k* zu den Dampfwegen *ü*, *u*, *Ü*, *U*.

Fig. 400.



In Fig. 400 hat der Schieber seine tiefste Stellung. Der frische Dampf tritt durch *ü* über den kleinen Kolben, dagegen der unter diesem Kolben befindliche verbrauchte Dampf durch *u*, *k* und *Ü* über den grossen Kolben; beide Kolben werden daher, wie vorhin gezeigt wurde, abwärts getrieben. Der unter dem grossen Kolben befindliche expandirte Dampf von dem vorigen Schube gelangt durch *U*, *h*, *C* in den Condensator. Wird der Schieber in die höchste Stellung gebracht, so correspondirt die Dampfbüchse frei mit *u*, *ü* durch *k* mit *U*, dagegen *Ü* durch *h* mit *C*; der frische Dampf gelangt unter den kleinen Kolben, der darüber befindliche Dampf expandirt sich unter dem grossen Kolben, der über diesem Kolben befindliche expandirte Dampf von vorhin gelangt in den Condensator, und die beiden Kolben bewegen sich aufwärts.

Fig. 401.



Die Fig. 401 zeigt den Schieber in seiner mittleren Stellung, wobei alle Dampfwege geschlossen sind. Es ist selbstverständlich, dass man dem Schieber, wie gewöhnlich, einen gewissen Grad Voreilung giebt, und es geschieht nicht selten, dass man mit der Steuerkammer, in welcher der Doppelschieber auf- und abgeht, noch eine Vorkammer verbindet, und in dieser, wie es in §. 254 gezeigt worden ist, behufs einer ersten Expansion sich einen Spaltschieber bewegen lässt.

Eintheilung der Dampfmaschinen. Nachdem wir in 256
dem Vorigen bei der Beschreibung der verschiedenen Arten von Dampfmaschinen die Principien, auf denen ihre Construction beruht, näher erörtert haben, ist es nun leicht, dieselben

zu classificiren und eine allgemeine Uebersicht über die einzelnen Arten zu gewinnen. Wenn wir von den noch hier und da vereinzelt vorkommenden atmosphärischen Maschinen, in denen der Kolben durch die Ueberwucht des atmosphärischen Luftdruckes bewegt wird, absehen, bleiben noch drei Wirkungsweisen des Dampfes übrig, welche auf die Construction und die Leistungsfähigkeit der Dampfmaschine von Einfluss sind, der Volldruck, die Condensation und die Expansion des Dampfes.

Hiernach giebt es rücksichtlich der Art und Weise, wie der Dampf zur Verwendung kommt, vier Hauptarten von Dampfmaschinen:

1. Maschinen ohne Condensation und ohne Expansion,
2. Maschinen ohne Condensation und mit Expansion,
3. Maschinen mit Condensation und ohne Expansion,
4. Maschinen mit Condensation und mit Expansion.

Die ersteren pflegt man auch wohl kurzweg Volldruckmaschinen, die zweiten Expansionsmaschinen, die dritten Condensationsmaschinen zu nennen. Maschinen der dritten Art werden häufig mit Dampf betrieben, dessen Spannung noch nicht zwei Atmosphären beträgt; sie werden dann Niederdruckmaschinen genannt, während man mit dem Namen der Hochdruckmaschine im Allgemeinen diejenigen Maschinen bezeichnet, in denen der Dampf eine höhere Spannung als zwei Atmosphären hat. Eine Niederdruckmaschine muss zugleich eine Condensationsmaschine sein; die Hochdruckmaschine dagegen kann mit und ohne Condensation, ebenso mit und ohne Expansion arbeiten.

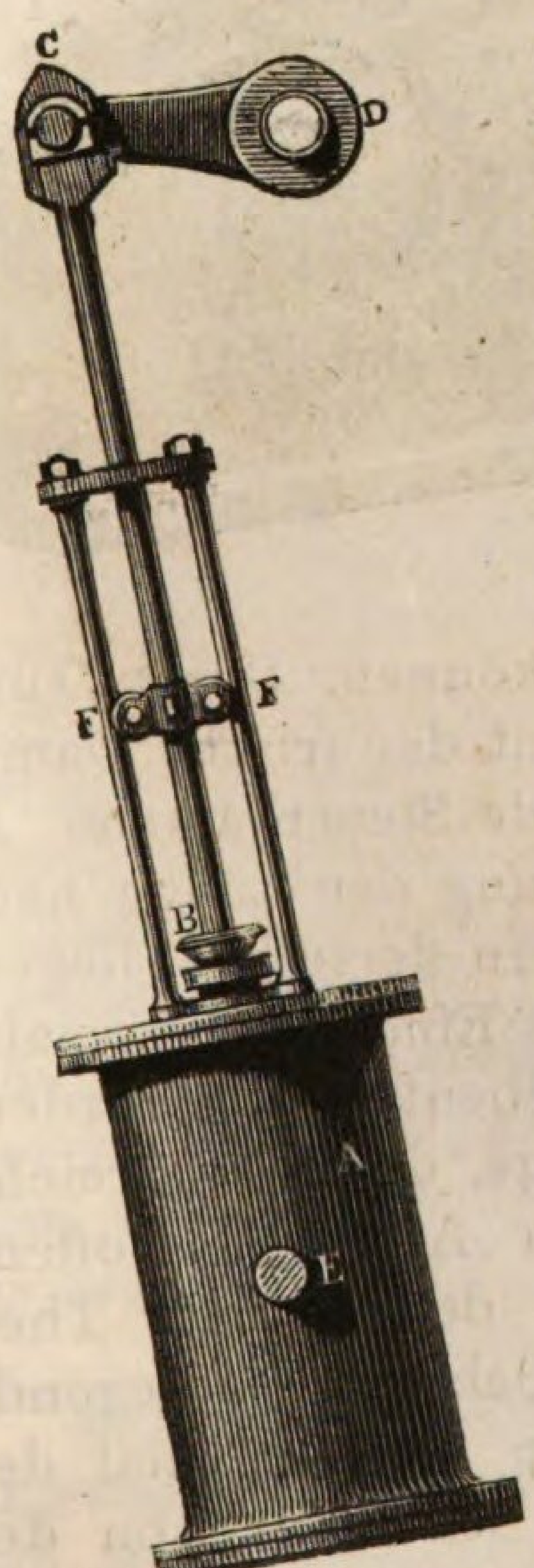
Rücksichtlich der Art und Weise, wie die geradlinige Bewegung des Kolbens in die rotirende einer Welle umgewandelt wird, pflegt man ebenfalls den Dampfmaschinen verschiedene Namen zu geben. Geschieht diese Umsetzung der Bewegung, wie bei der Watt'schen Niederdruck- und der Cornwallmaschine (Fig 366), durch einen Balancier, so nennt man wohl die ganze Maschine eine Balanciermaschine; geschieht dieses wie bei der Hochdruckmaschine der Fig. 381 vermittelst einer Kurbel, so heisst die Maschine eine Kurbelmaschine; man erreicht, wie wir sogleich näher sehen werden, denselben

Zweck auch dadurch, dass man den Cylinder um zwei einander gegenüber stehende Zapfen hin- und herschwingen lässt; die Maschine heisst dann Oscillationsmaschine oder Maschine mit schwingendem Cylinder.

Endlich unterscheidet man noch, ob der Cylinder vertical aufrecht steht, oder, wie bei der Locomotive, horizontal oder geneigt liegt, und nennt darnach die Maschinen stehende oder liegende Maschinen.

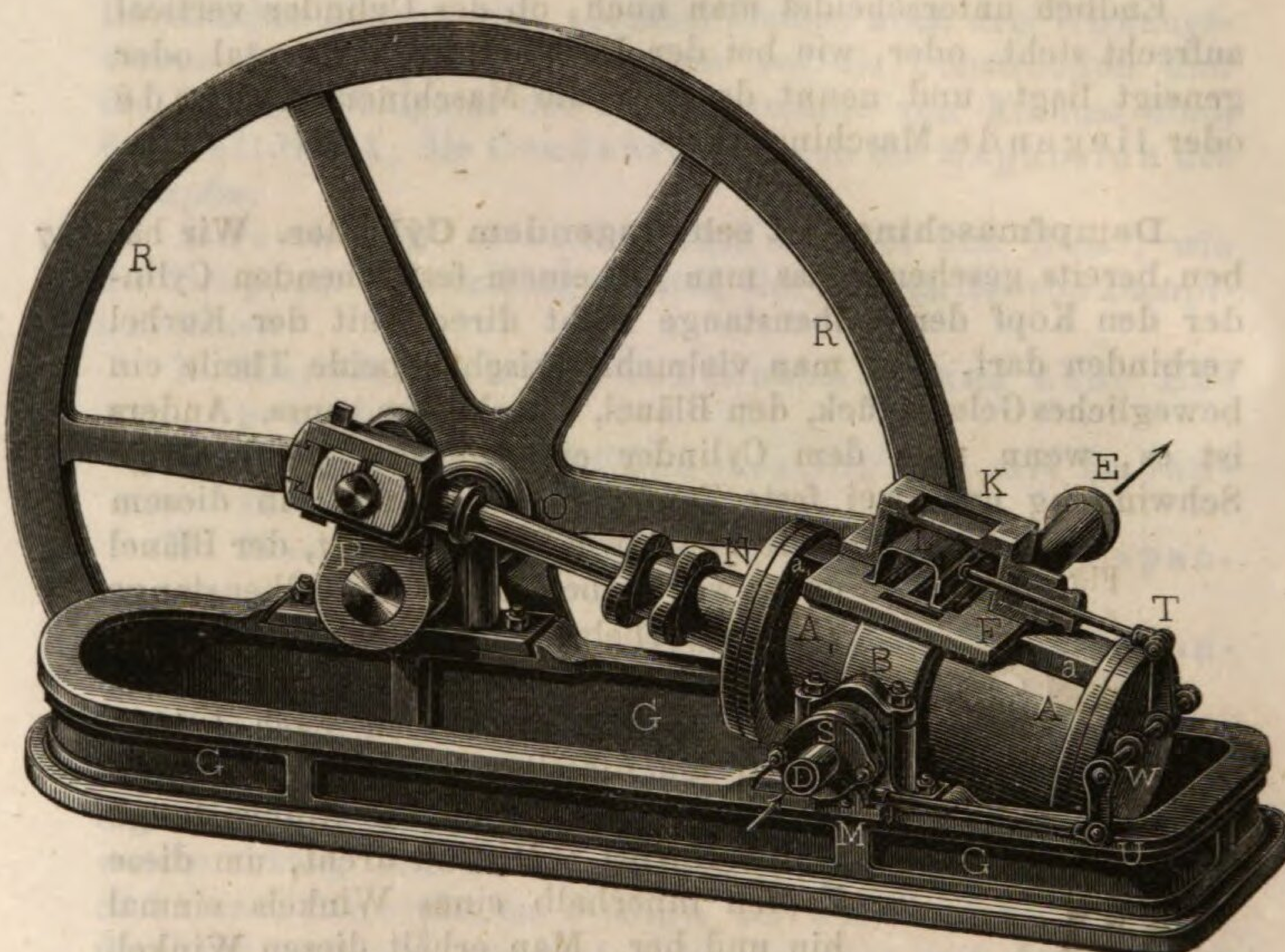
Dampfmaschine mit schwingendem Cylinder. Wir haben bereits gesehen, dass man bei einem feststehenden Cylinder den Kopf der Kolbenstange nicht direct mit der Kurbel verbinden darf, dass man vielmehr zwischen beide Theile ein bewegliches Gelenkstück, den Bläuel, einschieben muss. Anders ist es, wenn man dem Cylinder eine gewisse pendelartige Schwingung um zwei feste Zapfen gestatten will; in diesem Falle kann, wie Fig. 402 zeigt, der Bläuel ganz wegbleiben und die Kolbenstange *B* die Kurbelwarze *C* direct angreifen. Wenn nämlich der Cylinder *A* in zwei Zapfen *E* liegt und sich nach beiden Seiten um dieselben drehen kann, so schwingt er, während die Kolbenstange *B* die Kurbel *CD* rund dreht, um diese Zapfen innerhalb eines Winkels einmal hin und her. Man erhält diesen Winkel, wenn man von dem Drehpunkte *E* an den von der Kurbelwarze *C* beschriebenen Kreis zwei Tangenten zieht. Zur Geradführung der Kolbenstange *B* dienen zwei auf dem Cylinder befestigte Gleitstangen, zwischen denen die mit zwei Rollen *F*, *F* versehene Kolbenstange *B* hin- und hergleiten muss, ohne irgendwie seitlich abbiegen zu können. Eine vollständige Maschine dieser Art nach Scholl nebst der Dampfsteuerung zeigt die Fig. 403 (a. f. S.). Auf dem Rahmen *GG* sind zwei starke Lager *B* angebracht, in denen die beiden hohlen Zapfen des Cylinders *AA* liegen. Die Zapfenhöhlungen stehen mit den Röhren 257

Fig. 402.



D und *E* in Verbindung und sind durch Stopfbüchsen *S* so gegen einander abgedichtet, dass sich die Zapfen um die fest-

Fig. 403.



stehenden Röhren *D*, *E* dampfdicht drehen können. Durch *D* und den sich daran schliessenden Zapfen strömt der frische Dampf beständig in die auf dem Cylinder liegende Steuerkammer *K*, von welcher in der Abbildung die Wandung der Länge nach halb weggeschnitten ist, um den im Innern derselben liegenden Schieber *L* und die über *B* liegende Einströmungsspalte sehen zu können; von dem Schieber ist ebenfalls die vordere Seitenwand entfernt, um die drei Dampfwege, die er bestreicht, erkennen zu lassen. Die untere, in der Abbildung offene Dampfspalte führt durch den Kanal *a* in den unteren Theil des Cylinders *AA*; der obere unter dem Schieber *L* liegende Dampfweg führt ebenso durch a_1 in den oberen Theil des Cylinders; die mittlere in der Abbildung ebenfalls von der Schieberhöhlung überdeckte Dampfspalte führt zu einem Seitenkanal und von hier durch das Ausströmungsrohr *E* an die

Luft. Die Schiebereinrichtung ist also die eines gewöhnlichen Muschelschiebers. Bei der Stellung, die derselbe in der Figur hat, strömt der frische Dampf bei *D* ein, gelangt dann in die Steuerkammer, durch den unteren offenen Dampfweg und den Kanal *a* unter den Kolben, so dass dieser sich in der Richtung von rechts nach links bewegt. Der verbrauchte Dampf von dem vorigen Kolbenschube, der sich vor dem Kolben befindet, geht durch a_1 und die obere Dampfspalte unter den Schieber, und von hier durch die mittlere Spalte nach *E* in die freie Luft.

Die Kolbenstange *O* wirkt direct ohne Bläuel auf die Kurbel *P*; die Geradführung derselben wird hier durch die röhrenartige Verlängerung des Gehäuses *N* bewirkt, in welchem die Stopfbüchse enthalten ist. Da bei dem Gange der Maschine der Kopf der Kolbenstange genöthigt ist, der Kurbelwarze zu folgen und sich im Kreise zu drehen, so muss der Cylinder um seine beiden bei *B*, *B* gelagerten Zapfen hin- und herschwingen. Diese Bewegung wird zugleich dazu benutzt, dem Schieber *L* seine Bewegung zu ertheilen. Es dient hierzu ein besonderer Hebelmechanismus *T*, *W*, *U*, *M*, dessen Welle *W* sich in Lagern, die auf dem Boden des Cylinders befestigt sind, drehen kann. Die durch die Stopfbüchse der Steuerkammer *K* hervortretende Schieberstange *F* ist an dem einen oberen Arme *T*, eine um den festen Punkt *M* drehbare Lenkstange *MU* an dem anderen unteren Arme *U* dieses Hebelmechanismus angeschlossen. Bei der Schwingung des Cylinders *AA* um die Achse *DE* muss die Welle *W* ebenfalls auf- und abschwingen, folglich müssen deren Hebel, durch die Lenkstange *MU* gezwungen, eine um *W* schwingende Bewegung annehmen, und diese ist es, welche dem Schieber *L* auf dem Boden der Steuerkammer *K* die hin- und hergehende Bewegung ertheilt. Ein Voreilen des Schiebers ist bei dieser Steuerung nicht zu erreichen; soll dasselbe eingerichtet werden, so muss man mit der Maschine eine besondere Excentriksteuerung verbinden, die dann ebenfalls ihre Bewegung durch den schwingenden Cylinder erhalten kann.

Berechnung des Effectes einer Dampfmaschine ohne 258
Expansion. Die Arbeit, welche eine Dampfmaschine zu leisten im Stande ist, hängt von dem Drucke ab, mit welchem der Dampf den Kolben vorwärts treibt, und von dem Wege, durch welchen sich der Kolben bewegt. Bezeichnen wir daher

die Grösse der Kolbenfläche in Quadratzoll mit F, die Anzahl der Atmosphären, welche der Dampfdruck im Cylinder besitzt, mit p, die Hubhöhe des Kolbens in Fuss mit h, so ist der Druck des Dampfes gegen den Kolben, da 1 Atmosphäre gleich ist dem Drucke von 14 Pfund auf den Quadratzoll, offenbar $p \cdot 14 \cdot F$ Pfund, und daher die Arbeit des Kolbens bei jedem Hube $p \cdot 14 \cdot F \cdot h$ Fusspfund, wenn angenommen wird, dass weder ein Gegendruck auf den Kolben, noch sonstige Hindernisse der Bewegung entgegenwirken.

Bei einer jeden Maschine findet aber ein solcher Gegendruck wirklich statt, und zwar beträgt derselbe bei den Hochdruckmaschinen ohne Condensation, wo der verbrauchte Dampf an die atmosphärische Luft abströmen muss, einschliesslich des Widerstandes, den der ausströmende Dampf an den Röhrentheilen erleidet, höchstens 1,25 Atmosphäre. Wendet man dagegen die Condensation des Dampfes an, so ist der Gegendruck auf den Kolben nur sehr unbedeutend und kann zu 0,1 Atmosphäre angenommen werden.

Hiernach beträgt der Gegendruck auf den Kolben:

a. bei Maschinen ohne Condensation $1{,}25 \cdot 14 \cdot F$ Pfund
b. „ „ mit „ $0{,}1 \cdot 14 \cdot F$ „

Daher beträgt die während eines jeden Kolbenhubes vorhandene Widerstandsarbeit:

a. bei Maschinen ohne Condensation $1{,}25 \cdot 14 \cdot F \cdot h$ Fusspfd.
b. „ „ mit „ $0{,}1 \cdot 14 \cdot F \cdot h$ „

Zieht man diese Widerstandsarbeit von der oben erhaltenen Arbeit des Kolbens ab, so ist die theoretische Leistung bei jedem Kolbenhube:

a. für eine Maschine ohne Condensation $14 \cdot F \cdot h\,(p - 1{,}25)$ Fpfd.
b. „ „ „ mit „ $14 \cdot F \cdot h\,(p - 0{,}1)$ „

Macht nun die Maschine in einer Minute n Umdrehungen des Schwungrades, so macht der Kolben in derselben Zeit n Doppel-, oder $2n$ Einzelhübe, daher ist die theoretische Leistung der Maschine in der Minute:

a. ohne Condensation $2n \cdot 14 \cdot F \cdot h\,(p - 1{,}25)$ Fusspfd.
b. mit „ $2n \cdot 14 \cdot F \cdot h\,(p - 0{,}1)$ „

und folglich ist der theoretische Effect der Maschine in der Secunde:

a. ohne Condensation $\frac{7}{15}\, n \cdot F \cdot h\,(p - 1{,}25)$ Fusspfd.
b. mit „ $\frac{7}{15}\, n \cdot F \cdot h\,(p - 0{,}1)$ „

Dividirt man die so erhaltene Anzahl der secundlichen Fusspfunde durch 480, so erhält man den theoretischen Effect der Maschine in Pferdekräften.

Ein Zahlenbeispiel wird dieses näher erläutern. Der Durchmesser des Dampfkolbens sei 34 Zoll, daher die Kreisfläche F desselben 907,92 Quadratzoll; die Dampfspannung im Cylinder betrage 4 Atmosphären, die Höhe des Kolbenhubes sei $2\frac{1}{4}$ Fuss, die Maschine mache 10 Umläufe in der Minute und wirke ohne Condensation. In diesem Falle haben wir in die vorletzte Formel die Zahlenwerthe an die Stelle der entsprechenden allgemeinen Werthe einzusetzen und erhalten dann als theoretischen Effect der Maschine in einer Secunde

$$\frac{7}{15} \cdot 10 \cdot 907{,}92 \cdot \frac{9}{4}\,(4 - 1{,}25) = 26216{,}19 \text{ Fusspfund.}$$

Dividirt man diese Zahl durch 480, so ergiebt der Quotient eine theoretische Stärke der Maschine von 54,6 Pferdekräften.

Wenn dagegen dieselbe Maschine unter denselben Umständen mit Condensation arbeitet, so hat man bloss an die Stelle der Zahl 1,25 die Zahl 0,1 zu setzen, und findet dann als theoretischen Effect der Maschine in der Secunde 37179,324 Fusspfund oder 77,457 Pferdekräfte.

Es wäre indessen ein grosser Irrthum, zu glauben, dass die wirkliche Nutzarbeit, welche eine Dampfmaschine zu leisten vermag, eben so gross sei, als die eben berechnete theoretische Leistung. Einestheils verzehren die mit der Bewegung der Kolben, des Schiebers und der übrigen beweglichen Theile verbundenen Reibungswiderstände, anderntheils aber auch die Richtungsänderungen des Dampfes in den Zu- und Ableitungswegen, die Reibung des Dampfes an den Wandtheilen der Kanäle und des Cylinders einen nicht unbedeutenden Theil des oben berechneten Effectes der Maschine.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass man den theoretischen Effect noch mit einem Coefficienten multipliciren muss, wenn man den wirklichen Nutzeffect, der von der Dampfmaschine an andere Arbeitsmaschinen übertragen werden kann, erhalten will. Dieser Coefficient ist für Maschinen von verschiedener Stärke verschieden und beträgt

für Hochdruckmaschinen (ohne Condensation)

unter . . 10	Pferdekräften	0,5
von 10 bis 20	„	0,55
„ 20 „ 30	„	0,6
„ 30 „ 40	„	0,65
„ 40 und mehr	„	0,7

für Niederdruckmaschinen (mit Condensation)

unter . . 10 Pferdekräften		0,5	
von 10 bis 30	„		0,56
„ 30 „ 60	„		0,6
„ 60 „ 100	„		0,65

Hiernach ist bei dem oben berechneten Zahlenbeispiele, wenn die Maschine ohne Condensation arbeitet, ihr wirklicher Nutzeffect nicht 54,6 Pferdekräfte, sondern nur $0{,}7 . 54{,}6 = 38{,}22$ Pferdekräfte; wenn sie dagegen mit Condensation als Niederdruckmaschine arbeitet, beträgt ihre wirkliche Nutzarbeit

$$0{,}65 . 77{,}457 = 50{,}35 \text{ Pferdekräften.}$$

259 **Berechnung des Effectes einer Dampfmaschine mit Expansion.** Wenn der Dampf nicht während des ganzen Kolbenhubes in den Cylinder einströmen kann, sondern abgesperrt wird, nachdem der Kolben erst einen Theil seines Hubes vollendet hat, und von da an durch Expansion wirkt, so ist klar, dass der gesammte theoretische Effect der Maschine während eines Kolbenhubes sich aus den beiden Arbeiten zusammensetzt, welche der Dampf während der vollen Einströmung bis zur Expansion, und welche er durch die Expansion selbst leistet. Behalten wir daher die in dem vorigen Paragraphen angenommenen Bezeichnungen bei, und nehmen wir an, dass die Absperrung des Dampfes und damit der Anfang der Expansion in dem Augenblicke eintritt, wo der Kolben das erste Drittel seines Hubes vollendet hat, so ist offenbar, wenn wir die Condensation des Dampfes ausschliessen und von einem Gegendruck auf den Kolben einstweilen absehen, jener erste Theil des theoretischen Effectes während der Zeit des vollen Dampfdruckes nach dem Vorigen

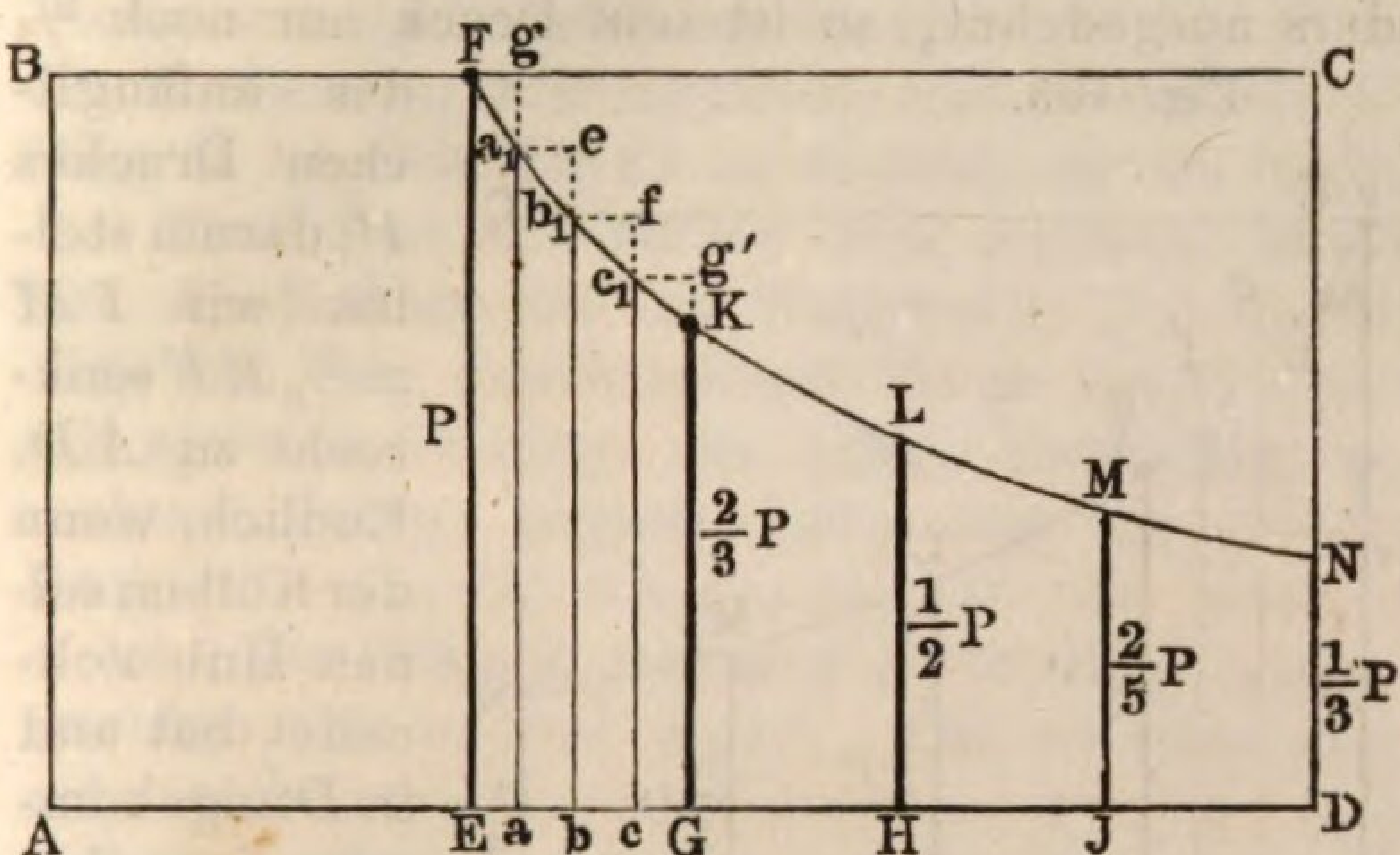
$$p . 14 . F . \frac{h}{3} \text{ Fusspfund.}$$

Nicht so einfach ist die Berechnung derjenigen Arbeit, welche der Dampf während seiner Expansion verrichtet, weil während dieser Zeit der Druck des Dampfes fortwährend abnimmt. Um jedoch eine Vorstellung von der Art und Weise zu geben, wie man hier wenigstens annähernd zum Ziele kommen kann, machen wir zuerst darauf aufmerksam, dass sich eine jede Arbeit als ein Product aus zwei Factoren, aus dem überwundenen Druck (Pfund) in den zurückgelegten Weg (Fuss) berechnet, und sich daher in Form des Flächeninhaltes eines Rechtecks darstellen lässt, dessen eine Seite den überwundenen Druck, und dessen andere Seite den durchlaufenen Weg versinnbildet;

der Inhalt eines solchen Rechtecks wird nämlich ebenfalls berechnet, wenn man seine beiden Seiten mit einander multiplicirt.

Es stelle nun in Fig. 404 AD die Länge h eines Kolbenhubes, AE das erste Drittel desselben $= \frac{1}{3} h$ dar; der volle, auf die Kolbenfläche F kommende Dampfdruck sei vor der Expansion P Pfund. Errichtet man nun eine beliebig lange Linie $AB = EF$ senkrecht auf AD, und denkt man sich die Grösse dieser P Pfund durch die Linie AB dargestellt, so stellt der Inhalt des Rechtecks $ABFE$ die während des ersten Drittels des Kolbenhubes geleistete Volldruckarbeit des Dampfes dar. Dieselbe beträgt nämlich

Fig. 404.



$$EF \,.\, AE = P \,.\, \frac{h}{3} \text{ Fusspfund.}$$

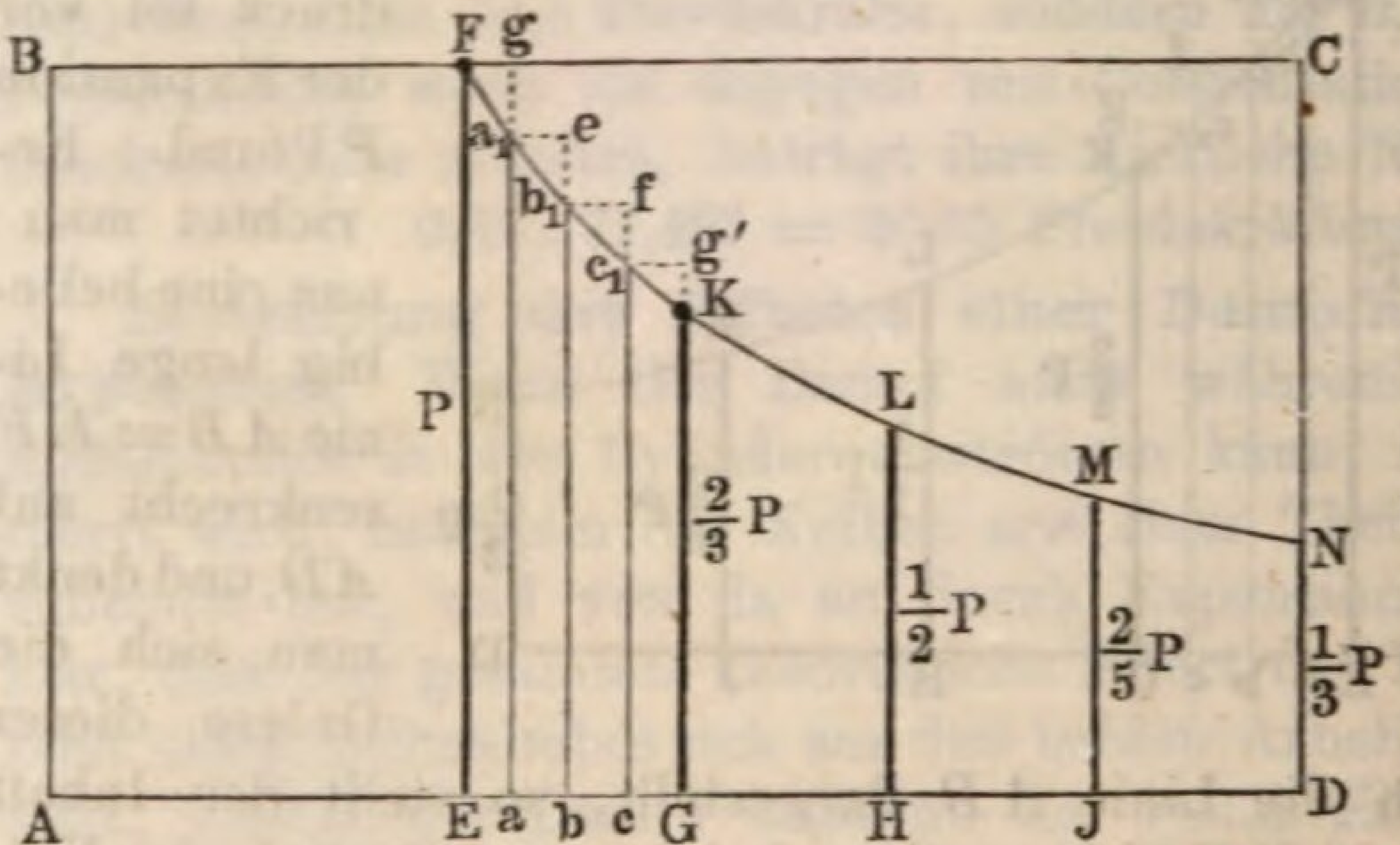
Ist der Kolben in E angekommen, so wird der Dampf abgesperrt und er beginnt durch Expansion zu wirken. In dem Maasse, als sein Volumen grösser wird, nimmt sein Druck ab, und die dabei stattfindende Temperaturerniedrigung hat erfahrungsgemäss auf die Proportionalität dieser Druckabnahme so wenig Einfluss, dass wir davon ganz absehen können. Es handelt sich nun zunächst darum, für die nächsten Hauptstellungen des Kolbens den Druck des Dampfes zu bestimmen. Zu diesem Zwecke theilen wir die Strecke ED in 4 gleiche Theile

$$EG = GH = HI = ID = \frac{1}{6}\, h.$$

Ist der Kolben in G angekommen, so hat er sich von 2 Raumtheilen in 3 solcher Theile ausgedehnt, sein Druck ist daher auf den in G befindlichen Kolben auch nur noch $\frac{2}{3}$ des vollen Druckes, d. h. $\frac{2}{3}\, P$. Da EF den vollen Druck P darstellt, so hat man nur in G eine Senkrechte $GK = \frac{2}{3}\, EF$ zu errichten; dieselbe stellt dann den Druck des Dampfes gegen den in G angekommenen Kolben dar. Ist der Kolben in H angekommen, so hat sich der Dampf von 2 auf 4 Raumtheile des Cylin-

ders ausgedehnt; sein Druck gegen den in H stehenden Kolben ist daher nur noch $1/_2 P$. Errichtet man daher in H eine Linie $HL = 1/_2 EF$, so stellt diese den Druck des Dampfes gegen den in H stehenden Kolben dar. Hat sich der Kolben weiter bis I bewegt und dadurch der Dampf sich von 2 auf 5 Raumtheile des Cylinders ausgedehnt, so ist sein Druck nur noch $2/_5$ des anfänglichen Druckes P; darum stellen wir $IM = 2/_5 EF$ senkrecht zu AD. Endlich, wenn der Kolben seinen Hub vollendet hat und in D angekommen ist, hat sich der Dampf von den 2 ersten Raumtheilen auf 6 solcher Theile ausgedehnt, sein Druck gegen den Kolben ist daher nur noch $1/_3 P$, den wir darstellen, indem wir $DN = 1/_3 EF$ auf AB senkrecht stellen. Auf diese Weise kann man für jede Stellung des Kolbens den zugehörigen Dampfdruck leicht finden und ihn durch eine Linie darstellen.

Fig. 405.



Der Druck des Dampfes in E ist nun EF, in G aber nur GK, und zwischen den Kolbenstellungen in E und G hat derselbe von P bis $2/_3 P$ beständig abgenommen.

Wenn man die Wegstrecke EG in ähnlicher Weise, wie es mit der Strecke ED geschehen ist, in viele sehr kleine Theile eintheilt, so kann man auf die vorhin angegebene Weise leicht den Druck finden, den der Dampf in jeder Station des Kolbens gegen denselben ausübt. Stellt man dann diese einzelnen, in Theilen des Volldrucks EF ausgedrückten Druckkräfte aa_1, bb_1, cc_1 ... in den betreffenden Punkten a, b, c ... der Linie EG, für welche sie berechnet sind, senkrecht, so kann man, ohne einen erheblichen Fehler zu begehen, annehmen, dass der Dampfdruck während der Expansion von E bis G nicht stetig abgenommen habe, sondern sprungweise, und zwar derart, dass er von E bis a dieselbe Grösse $EF = ag$ beibehalten habe, dann aber plötzlich auf aa_1 herabgesunken sei, dann diese Grösse $aa_1 = be$ auf der nächsten Strecke ab beibehalten

habe, dann wieder plötzlich auf $b\,b_1$ herabgesunken sei, dass er weiter auf der Strecke $b\,c$ diese Stärke $b\,b_1 = c\,f$ beibehalten habe, dann wieder bis zur Grösse $c\,c_1$ plötzlich abgenommen und endlich auf der letzten Strecke $c\,G$ diesen Druck $c\,c_1 = G\,g'$ beibehalten habe. Offenbar ist der Fehler, den man bei dieser Voraussetzung begeht, um so geringer, in je mehr Theile man den Kolbenweg $E\,G$ eintheilt, und es hindert uns nichts, diesen Weg in so viele Theile zu theilen, als wir wollen.

Nun haben wir bereits oben gesehen, dass wir, um die Arbeit des Kolbens für die Wegstrecke $E\,a$ zu finden, den Druck $E\,G$ mit dem durchlaufenen Wege $E\,a$ zu multipliciren, oder, mit anderen Worten, den Inhalt des Rechtecks $E\,F\,g\,a$ zu berechnen haben; ebenso geben uns die Inhalte der folgenden Rechtecke $a\,a_1\,e\,b$, $b\,b_1\,f\,c$, $c\,c_1\,g\,G$ die einzelnen Arbeiten an, welche der Dampf während seiner Expansion auf den Kolbenstrecken $a\,b$, $b\,c$, $c\,G$ leistet. Die Addition aller dieser Rechtecke giebt uns also die Gesammtarbeit an, welche der Dampf während seiner Expansion auf der Kolbenstrecke $E\,G$ ausführt.

Wollen wir uns indessen der Wirklichkeit, dass der Dampfdruck nicht ruckweise, sondern stetig abnimmt, immer mehr nähern, so müssen wir zwischen $E\,G$ nicht bloss drei, sondern sehr viele Mittelstufen für die Stellungen des Kolbens annehmen, für jede den Dampfdruck berechnen und das zugehörige kleine Rechteck bilden. Je schmaler aber diese einzelnen rechteckigen Streifen, wie $a\,a_1\,e\,b$ u. s. w., werden, desto weniger schiessen sie oben über die Linie $F\,K$ hinaus, woraus folgt, dass die Summe der unendlich vielen zwischen $E\,G$ liegenden Rechtecke an Inhalt gleich ist der Figur $E\,F\,K\,G$. Es ist nun zwar die Linie $F\,K$ nicht genau eine gerade Linie, allein sie weicht so wenig von derselben ab, dass man fast gar keinen Fehler begeht, wenn man sie für eine gerade Linie nimmt, und demgemäss die Figur $E\,F\,K\,G$ als ein Paralleltrapez ansieht. Wir gelangen daher zu dem Resultate, dass der Inhalt des Trapezes $E\,F\,K\,G$ die Expansionsarbeit des Dampfes für die Kolbenstrecke $E\,G$ ausdrückt. Das Gesagte gilt mit allen seinen Einzelheiten auch für die folgenden Kolbenstrecken $G\,H$, $H\,I$, $I\,D$, so dass wir die gesammte Arbeit, welche der Dampf auf der Kolbenstrecke $E\,D$ durch Expansion ausführt, erhalten, wenn wir die Inhalte der einzelnen Figuren (Trapeze)

$$E\,F\,K\,G,\; G\,K\,L\,H,\; H\,L\,M\,I,\; I\,M\,N\,D$$

berechnen, und die erhaltenen Werthe addiren.

Bekanntlich wird der Inhalt eines Trapezes gefunden, wenn

man den senkrechten Abstand der parallelen Seiten mit der halben Summe dieser Seiten multiplicirt. In dem vorliegenden Falle sind diese senkrechten Abstände EG, GH, HI, ID bei allen Trapezen einander gleich und zwar gleich $\frac{h}{6}$. Demnach sind die Inhalte dieser vier Trapeze, wenn wir wieder den vollen Druck EF mit P bezeichnen,

$$EFKG = \frac{h}{6} \cdot {}^5\!/_6 P, \quad GKLH = \frac{h}{6} \cdot {}^7\!/_{12} P,$$

$$HLMI = \frac{h}{6} \cdot {}^9\!/_{20} P, \quad IMND = \frac{h}{6} \cdot {}^{11}\!/_{30} P;$$

die Summe derselben ist

$$\frac{h \cdot P}{6} ({}^5\!/_6 + {}^7\!/_{12} + {}^9\!/_{20} + {}^{11}\!/_{30}) = \frac{h \cdot P}{6} \cdot {}^{67}\!/_{30} = {}^{67}\!/_{180} P \cdot h$$
$$= 0{,}372 \cdot P \cdot h;$$

setzen wir an die Stelle von P den wirklichen Werth $p \cdot 14 \cdot F$, wo wie oben p die Atmosphärenzahl der Dampfspannung, F die Kolbenfläche in Quadratzoll bezeichnet, so ist die gesammte Expansionsarbeit des Dampfes, wenn derselbe nach dem ersten Drittel des Kolbenhubes abgesperrt wird,

$$0{,}372 \cdot p \cdot F \cdot h.$$

Rechnen wir hierzu noch die Volldruckarbeit, die während des ersten Drittels des Kolbenhubes geleistet wird, hinzu, und ziehen wir die während des ganzen Kolbenhubes auf der Rückseite des Kolbens thätige Widerstandsarbeit ab, wobei wir annehmen, dass die Maschine ohne Condensation arbeite, so erhalten wir als totalen theoretischen Effect der Maschine während eines Kolbenhubes

$$p \cdot 14 \cdot F \cdot \frac{h}{3} + 0{,}372 \cdot p \cdot 14 \cdot F \cdot h - 1{,}25 \cdot 14 \cdot F \cdot h$$
$$= 14 \cdot F \cdot h\,(0{,}705\, p - 1{,}25).$$

Wenn daher die Maschine in einer Minute n Umdrehungen, also n Doppel- und $2n$ Einzelhübe macht, so ist ihr theoretischer Effect in einer Secunde

$$\frac{2n \cdot 14 \cdot F \cdot h}{60} (0{,}705\, p - 1{,}25) = {}^7\!/_{15}\, n \cdot F \cdot h\,(0{,}705\, p - 1{,}25).$$

Man sieht hieraus und durch Vergleichung dieses letzten Resultates mit dem des vorigen Paragraphen, dass der theoretische Effect einer Expansionsmaschine bei denselben Dimensionen, derselben Geschwindigkeit und derselben Dampfspannung geringer ist, als bei der Volldruckmaschine; aber andererseits

ist der Verbrauch an Dampf bei der Expansionsmaschine weit kleiner, als bei der Volldruckmaschine, und beträgt bei der Annahme der vorigen Untersuchung nur $\frac{1}{3}$ dessen, was die Volldruckmaschine erfordert.

Wenn dieselben Zahlen der Berechnung des theoretischen Effectes einer Expansionsmaschine zu Grunde gelegt werden, welche in dem Zahlenbeispiele des §. 258 für die Volldruckmaschine gewählt worden sind, so stellt sich der theoretische Effect für die Expansionsmaschine pro Secunde auf 14967,06 Fusspfund oder nahe 31,2 Pferdekräfte, wogegen derselbe für die Volldruckmaschine bei dreimal grösserem Dampfverbrauch nur 54,6 Pferdekräfte betrug.

Wenn man den Dampf, statt nach dem ersten Drittel des Kolbenhubes, nach $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ u. s. w. des Hubes absperren will, so geschieht die Berechnung der Expansionsarbeit ganz auf dieselbe Weise, wie es vorhin ausgeführt worden ist.

Um aus dem theoretischen Effect der Maschine den Nutzeffect zu erhalten, den dieselbe nach Ueberwindung der Reibungs- und sonstigen Widerstände auf die Arbeitsmaschinen nutzbar übertragen kann, muss man den Werth des theoretischen Effectes noch mit einem Coefficienten multipliciren. Derselbe beträgt für Expansionsmaschinen

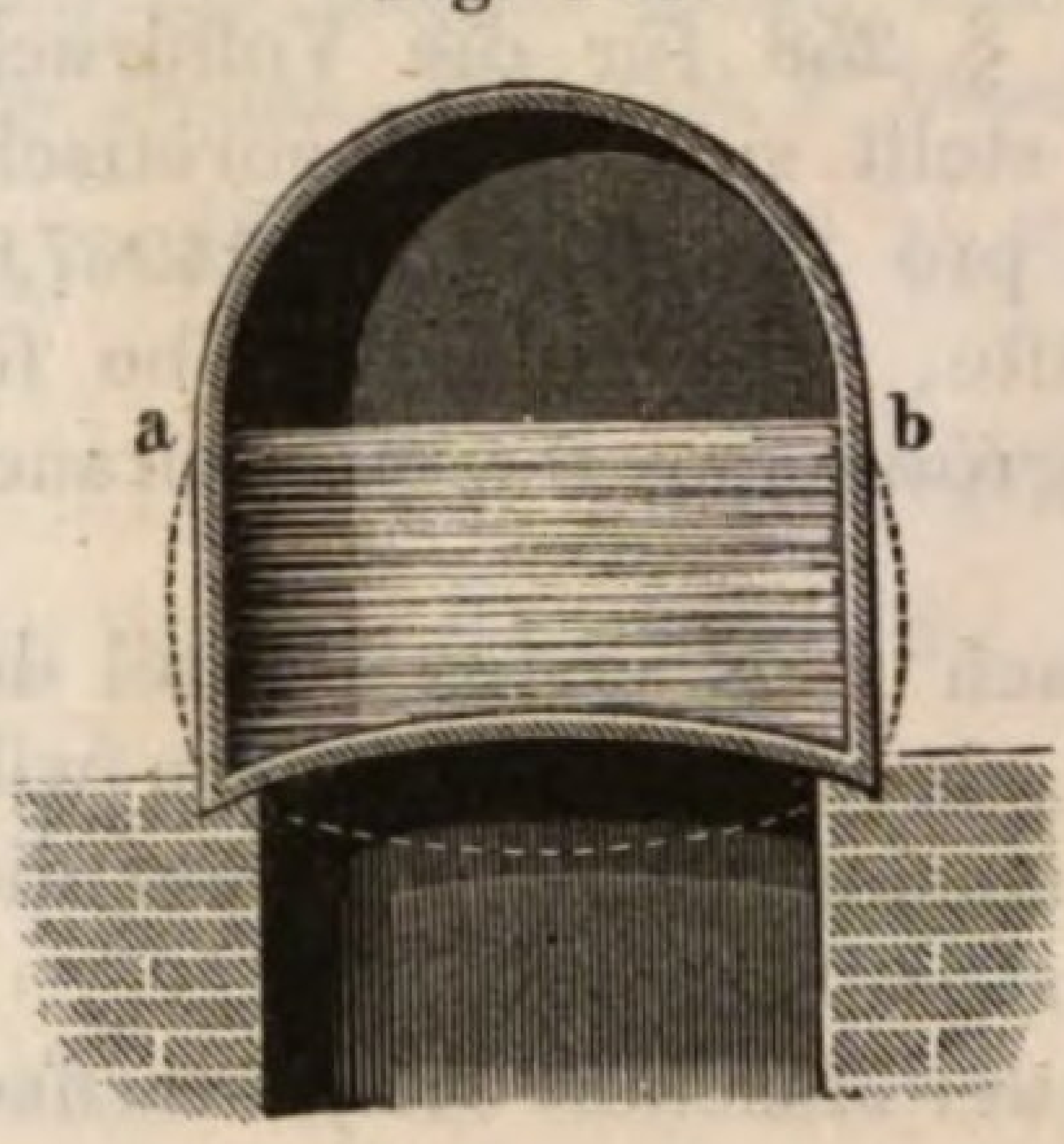
von	4	bis	10	Pferdekräften	0,33
„	10	„	20	„	0,42
„	20	„	40	„	0,5
„	40	„	50	„	0,57
„	50	„	60	„	0,62
„	60	„	70	„	0,66
„	70	„	80	„	0,82
„	80	„	100	„	0,7

In dem obigen Beispiele, wo der theoretische Effect der Maschine 31,2 Pferdekräfte betrug, ist der Nutzeffect derselben nur $0,5 \times 31,2 = 15,6$ Pferdekräfte.

Der Dampfkessel hat zur Aufgabe, den zum Betriebe 260
einer Dampfmaschine erforderlichen Dampf in der gehörigen Spannung und in hinreichender Quantität zu liefern. Die meisten Kessel werden aus starken Eisenblechtafeln angefertigt, die zusammengenietet und an den Fugen dicht gestemmt werden. Die Form derselben ist sehr verschieden und richtet sich theils nach dem Grade der Spannung, welche der Dampf annehmen soll, theils nach der Menge Dampf, die in einer be-

stimmten Zeit gebildet werden muss, theils auch nach der Maschine, für welche der Kessel bestimmt ist. Wir haben bereits gesehen, dass die ersten Dampfkessel kugelförmig waren und daher dem Feuer nur eine kleine Heizfläche darbieten konnten. Watt gab zuerst dem Kessel die Form eines langgestreckten Gewölbes *ab*, Fig. 406, welches oben cylindrisch abgerundet, unten aber einwärts gebogen war. Diese Art Kessel, die man ihrer Form wegen Kofferkessel nennt, bieten dem Feuer eine grosse Heizfläche dar und bewähren sich noch jetzt überall da, wo der Dampf keine höhere Spannung als 1¼ Atmosphären anzunehmen braucht.

Fig. 406.



Am häufigsten sind gegenwärtig die cylindrischen Kessel, Fig. 407, weil sie für alle Fälle, sowohl für niedrigen als für hohen Druck anwendbar sind. An den beiden Enden werden

Fig. 407



sie mit kugelförmigen Kopfstücken *ab*, *ab* geschlossen, deren Wölbung gewöhnlich einen Halbmesser *ac* gleich dem Durchmesser *ab* des Kessels hat.

Um einestheils die grosse Wassermenge des Kessels zu verringern, anderntheils die Heizfläche zu vergrössern, lässt man durch die ganze Länge des Kessels Rauchrohre hindurchgehen, Figur 408, in welche die Feuerluft, nachdem sie den unteren Theil des Kessels bestrichen hat, hineingeführt wird.

In den sogenannten Cornwall-Kesseln, Fig. 409, liegt sogar die ganze Feuerung im Innern des Kessels, wodurch dieselben natürlich einen bedeutenden Durchmesser erhalten müssen. Der cylindrische Kessel *a* hat 6½ Fuss Durchmesser und 32 Fuss

Länge; *b* ist das Feuerrohr von 4 Fuss Durchmesser, das sich durch die ganze Länge des Kessels erstreckt. Wenn die Flamme aus *b* austritt, geht sie vom hinteren Ende des Kessels durch *m* nach vorn und dann durch die beiden Seitenzüge *n*, *n* in die Esse.

Fig. 408.

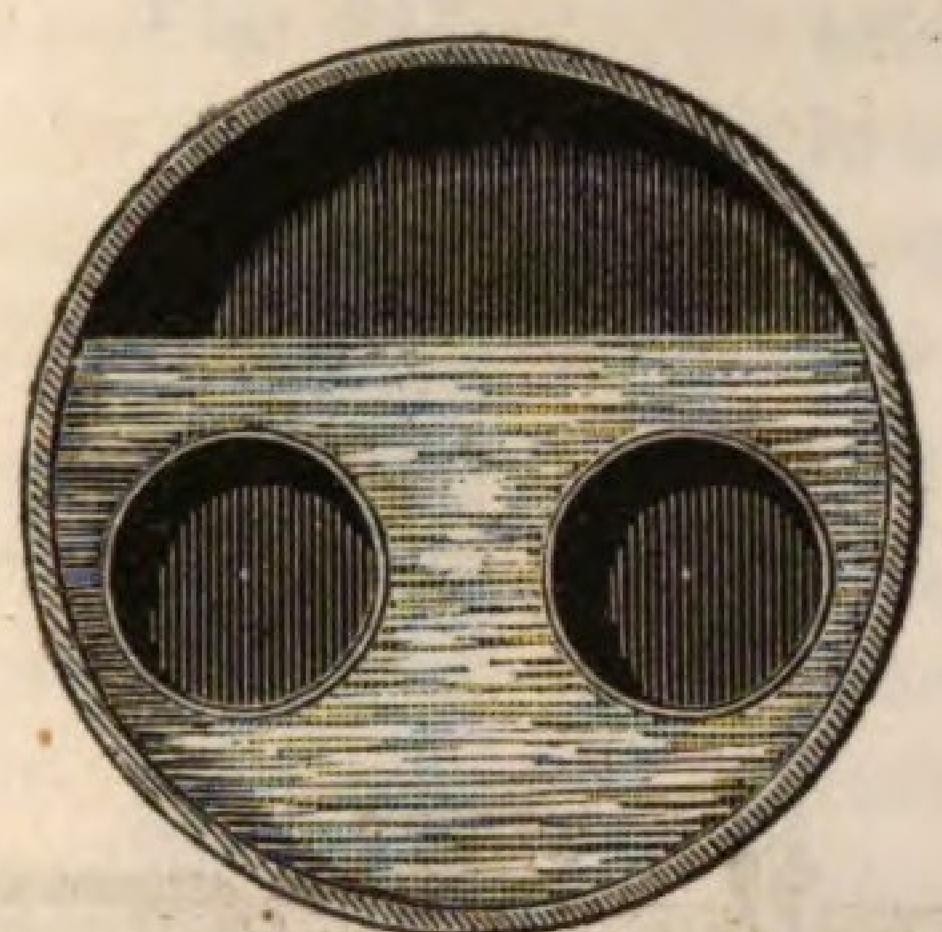
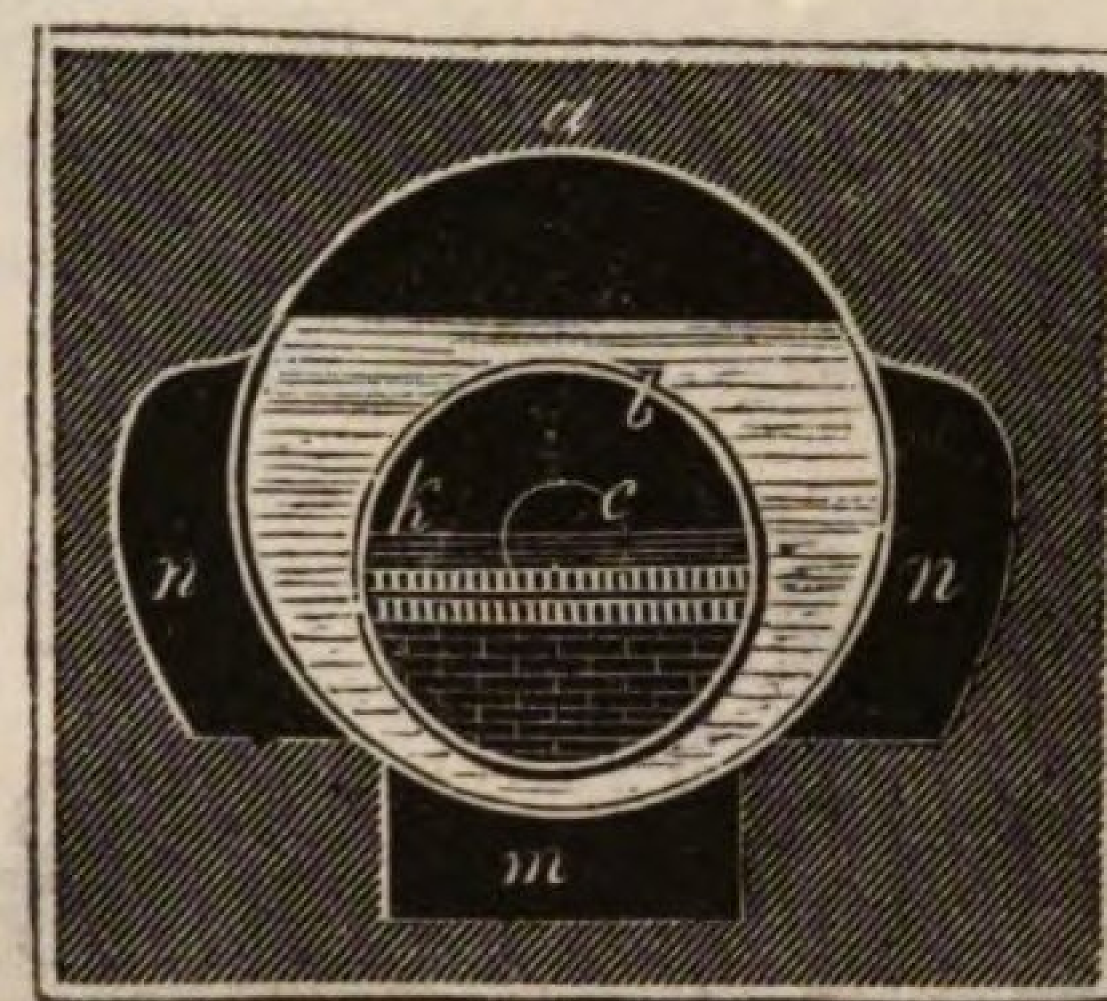
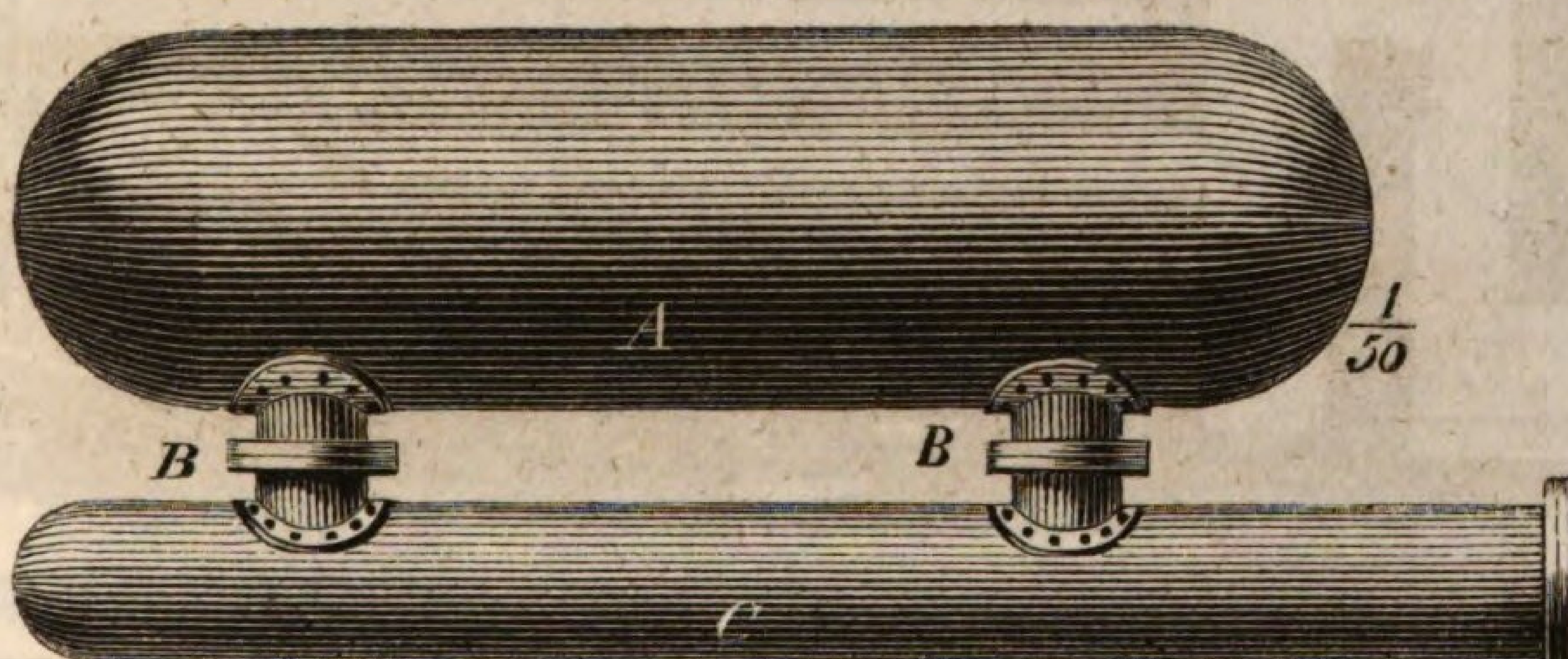


Fig. 409.



Sehr häufig verbindet man, wie Fig. 410 zeigt, mit dem Hauptkessel *A* durch kurze Röhren *B* einen oder mehrere dem

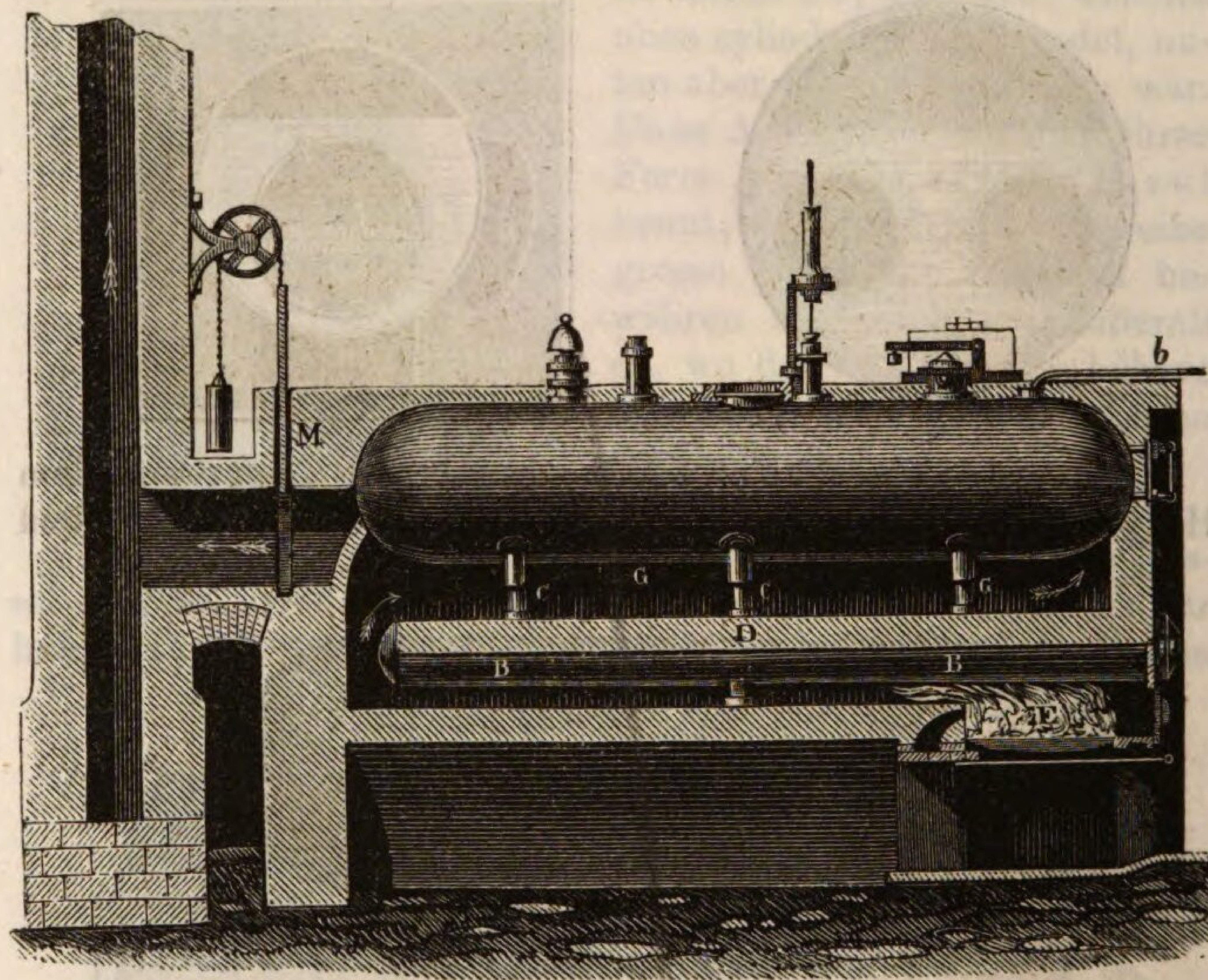
Fig. 410.



Hauptkessel parallel laufende kleinere Cylinderkessel *C* von 16 bis 18 Zoll Durchmesser, welche man Siederöhren, Sieder oder Bouilleurs nennt, weil dieselben stets im Feuer liegen und das darin enthaltene Wasser sehr rasch in Dampf verwandeln. Die Figuren 411 und 412 (a. f. S.) zeigen die Einzelheiten eines solchen Kessels mit den dazu gehörigen Heizungsanlagen; Fig. 411 ist ein Längendurchschnitt, Fig. 412 ein Querdurchschnitt desselben. *A* ist der Hauptkessel, *B*, *B* sind die beiden Sieder, *C*, *C* die Verbindungsrohre beider. Der Kessel wird so eingemauert, dass die Feuerluft seine einzelnen Theile möglichst vollständig umspielen kann. Zu diesem Zwecke zieht sich eine horizontale Scheidewand *D* in der Höhe der Sieder durch den

ganzen Heerd, wodurch der untere Zugkanal vollständig abgedeckt wird; andererseits sind noch zwei verticale, durch die Verbindungsrohre C, C gehende, der Länge des Kessels nach sich erstreckende Mauerwände eingefügt, welche den oberhalb

Fig. 411.

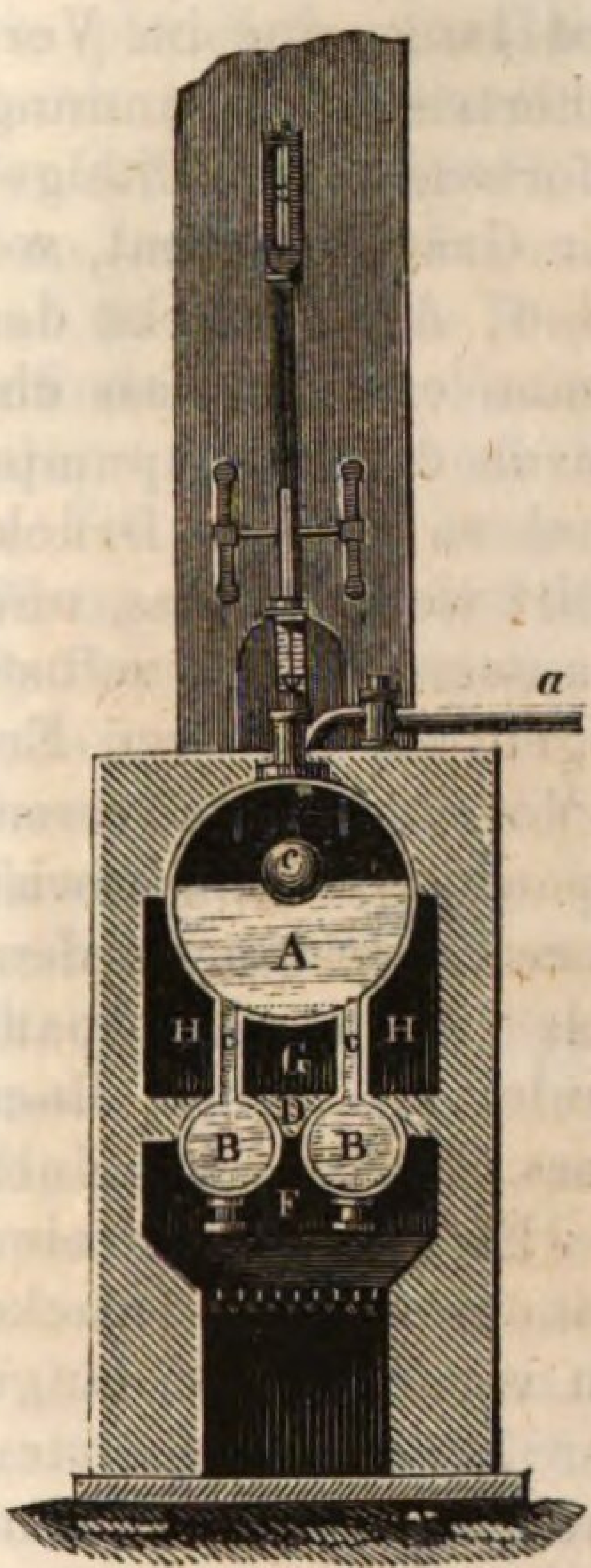


der wagerechten Decke D liegenden Raum in drei Abtheilungen eintheilen. Die Feuerluft, welche auf dem Roste E erzeugt wird, geht zuerst unterhalb der Decke D durch den Zug F; hinten angekommen gelangt sie in den mittleren Zug G, in welchem sie nach vorn geht, um in die beiden Seitenzüge HH umzubiegen und endlich in die Esse überzugehen. Das **Register** M, welches durch ein Gegengewicht in der Schwebe gehalten wird, dient dazu, den Zugang der Flamme aus den Seitenkanälen H, H zu dem gemeinschaftlichen, vor der Esse befindlichen Kanal zu erweitern oder zu verengern, und damit den Zug des Feuers zu reguliren.

Das Rohr a, Fig. 412, leitet den Dampf aus dem Kessel in die Maschine; es ist gewöhnlich mit Strohgeflechte, Lehm und Packleinen umgeben, um es gegen den Wärmeverlust zu

schützen und zu verhüten, dass ein Theil des Dampfes sich in demselben condensire. Ein zweites Rohr *b*, Fig. 411, ist das Speiserohr, durch welches dem Kessel das Wasser, welches in Dampf verwandelt wird, stets neu ersetzt wird.

Fig. 412.



Die Leistung eines Dampfkessels, d. h. seine Fähigkeit, in der Zeiteinheit, z. B. in einer Stunde, eine bestimmte Gewichtsmenge Wasser zu verdampfen, hängt von der Grösse der Heizfläche und von der Gluth des Feuers ab. Man rechnet auf 1 Quadratfuss Heizfläche bei stehenden Maschinen eine durchschnittliche Verdampfung von 4 Pfund Wasser in einer Stunde, bei Schiffsmaschinen von $6\frac{1}{2}$ bis $7\frac{1}{2}$ Pfund und bei Locomotiven von 21 bis 26 Pfund. Wegen des Umstandes, dass ein nicht unbedeutender Theil der vom Feuer direct bestrichenen Kesselfläche mit Flugasche und Russ belegt wird, nimmt man als Heizfläche nur $\frac{2}{3}$ der ganzen von der Feuerluft getroffenen Kesselfläche. — In vielen Fällen bestimmt man auch die Heizfläche des Kessels nach dem Effect der Dampfmaschine und nimmt an, dass bei stehenden Maschinen für jede Pferdekraft der Maschine die Heizfläche 12 bis 14 Quadratfuss, bei Schiffsmaschinen 10 Quadratfuss und bei Locomotiven 5 Quadratfuss betragen muss. Da die gewöhnlichen Landkessel für jede Pferdekraft der Maschine 12 bis 14 Quadratfuss Heizfläche erfordern und diese in einer Stunde je nach den Umständen 50 bis 70 Pfund Wasser in Dampf verwandeln, dieses Gewicht aber annähernd einem Kubikfuss Wasser entspricht, so wendet man häufig das Wort Pferdekraft auch auf die Dampfkessel an. Wenn man daher von einem Kessel von 50 Pferdekraft spricht, so heisst das nichts anderes, als dass er bei guter Feuerung stündlich 50 Kubikfuss Wasser in Dampf verwandeln könne.

Kesselexplosionen. Wenn der Druck des Dampfes im 261
Innern eines Dampfkessels stärker ist, als die Festigkeit des Materials, aus welchem er zusammengesetzt ist, so zerreisst

derselbe gewöhnlich unter den Erscheinungen einer heftigen Explosion, durch welche nicht bloss der Kessel selbst, sondern häufig auch das ganze Kesselhaus und die angrenzenden Fabrikgebäude zerstört werden. Die Ursachen, welche den Kesselexplosionen zu Grunde liegen, sind mannigfacher Art, von denen wir die wichtigeren der Reihe nach besprechen wollen.

Als Hauptursache hielt man eine Zeit lang eine im Verhältnisse zu der Wandstärke des Kessels übertriebene Spannung des Dampfes. Es ist klar, dass man bei fortwährender Steigerung der Dampfspannung endlich zu einer Gränze kommt, wo die Kesselwände nicht mehr im Stande sind, dem Drucke des Dampfes zu widerstehen. Allein, wenn man erwägt, dass ein jeder neue Kessel vor dem Gebrauche durch die Druckpumpe mit kaltem Wasser auf einen $1\frac{1}{2}$ bis 3 mal so starken Druck, als er beim Betriebe auszuhalten hat, probirt werden muss, und derselbe, wie wir später sehen werden, ausserdem mit selbstwirkenden Sicherheitsventilen und sonstigen zur sicheren Erkennung der Dampfspannung dienenden Vorrichtungen versehen ist, so kann eine übertriebene Dampfspannung allein gewiss nur in sehr seltenen Fällen die Ursache einer Explosion werden.

Wenn dagegen im Innern des Kessels eine starke Spannung vorhanden ist und der Kessel erleidet an irgend einer Stelle einen heftigen Stoss, so kann dieses die Ursache einer plötzlich eintretenden Explosion werden. Es ist nämlich eine bekannte Thatsache, dass Gefässe, die einem starken Drucke ausgesetzt sind, diesen Druck auszuhalten vermögen, so lange sie ruhig gehalten werden, dass sie aber bei der geringsten Erschütterung sofort zerspringen. Bei einem Dampfkessel können aber sehr heftige Stösse im Innern dadurch eintreten, dass beim Anlassen der Maschine der Dampfhahn zu rasch geöffnet und dadurch plötzlich eine sehr grosse Menge Dampf abgeführt wird. In Folge hiervon fängt das Wasser unter sehr heftigem Aufwallen an zu kochen, und das Aufsteigen und Zurückfallen desselben kann von so heftigem Anschlagen gegen die Kesselwand begleitet sein, dass diese, wenn sie ohnehin schon sehr stark angestrengt ist, dadurch einen Bruch erleidet.

Die gewöhnlichste Ursache der Kesselexplosionen besteht aber unstreitig darin, dass in Folge Wassermangels ein Theil der Kesselwand eine zu hohe Temperatur annimmt und in diesem Zustande plötzlich mit einer grösseren Menge Wassers in Berührung kommt. Ist ein Theil der Kesselwand durch die directe Einwirkung des Feuers rothglühend geworden, so be-

sitzt diese Stelle schon nicht mehr die Festigkeit, die das Material im kälteren Zustande hat, und ein hoher Dampfdruck vermag schon eine blasenartige Ausbiegung dieser Wandtheile hervorzurufen. Kommt nun auf irgend eine Weise das Wasser mit dieser rothglühenden Wand in Berührung, so verwandelt sich plötzlich eine grosse Menge desselben in Dampf, so dass die plötzlich aufs Höchste gesteigerte Dampfspannung und der damit verbundene Stoss des Wassers leicht die Ursache werden können, dass die ohnehin schon geschwächten Kesselwände dem inneren Druck nachgeben und zerreissen.

So lange der Wasserstand im Innern des Kessels sich höher befindet, als die Feuerlinie, d. h. höher, als die Stellen des Kessels, welche ausserhalb desselben direct von der Feuerluft getroffen werden, kann die vorbezeichnete Gefahr nicht eintreten. Wenn dagegen bei einem unausgesetzten Dampfverbrauche die Speisevorrichtungen, die den Kessel mit Wasser zu versorgen haben, ihren Dienst nicht thun, so kann es nicht ausbleiben, dass der Wasserspiegel im Innern des Kessels bald unter die Feuerlinie zu liegen kommt und diejenigen Theile des Kessels, welche von der Flamme getroffen werden, rothglühend werden. Werden dann die Speisevorrichtungen unvorsichtiger Weise zu rasch gehandhabt, um den Wasserstand wieder auf das richtige Niveau zu bringen, so kommt das Wasser alsbald mit der glühenden Kesselwand in Berührung, und es sind nun die vorhin bezeichneten Umstände zusammen, welche eine Explosion zur Folge haben können.

In ähnlicher Art können Risse wirken, die sich im Kesselsteine bilden. Durch das Verdampfen des Wassers im Kessel setzen sich die festen Bestandtheile desselben nach und nach auf dem Boden und an den Wänden des Kessels ab und bilden eine immer dicker werdende Kruste, die man Kesselstein nennt. Da die unter dem Kesselsteine befindlichen Wandtheile des Kessels nicht mit dem Wasser in Berührung stehen, so nehmen sie eine weit höhere Temperatur an, als jener, und können selbst rothglühend werden, wenn die Kruste des Kesselsteins sehr dick ist. Entsteht nun auf irgend eine Weise in dem Kesselsteine ein Riss, der das Wasser bis auf die Kesselwand eindringen lässt, so entwickelt sich an dieser Stelle rasch eine grosse Menge Dampf, der das Absprengen eines grösseren Stücks Kesselstein von der glühenden Kesselwand leicht zur Folge haben kann. Ist dieses eingetreten, so ist aus den vorhin genannten Gründen die grösste Gefahr einer Explosion vorhanden.

Um sich die verheerenden Wirkungen, welche durch die Explosion eines Dampfkessels entstehen, erklären zu können, genügt es nicht, dass man sich vorstellt, der Dampf habe eine sehr hohe Spannung im Kessel und vermöge in Folge hiervon so sehr bedeutende mechanische Wirkungen zu äussern; die Explosionen eines Mitteldruckkessels, in welchem die Spannung des Dampfes vielleicht 2 Atmosphären nicht überschreitet, kann ebenfalls von den ausserordentlichsten mechanischen Wirkungen begleitet sein. Die Hauptursache hiervon ist die, dass in dem Augenblicke einer Explosion eine sehr bedeutende Menge Wasser, dessen Temperatur weit über 100° C. liegt, plötzlich an die freie Luft tritt und daher zum grossen Theile mit einem Male in Dampf verwandelt wird. Es ist begreiflich, dass diese fast momentan vor sich gehende überreiche Dampfbildung von den verheerendsten Erscheinungen begleitet sein muss, da das Volumen des Dampfes von 1 resp. 2 Atmosphären 1700 resp. 900mal so gross ist, als das Wasser, aus welchem er sich gebildet hat.

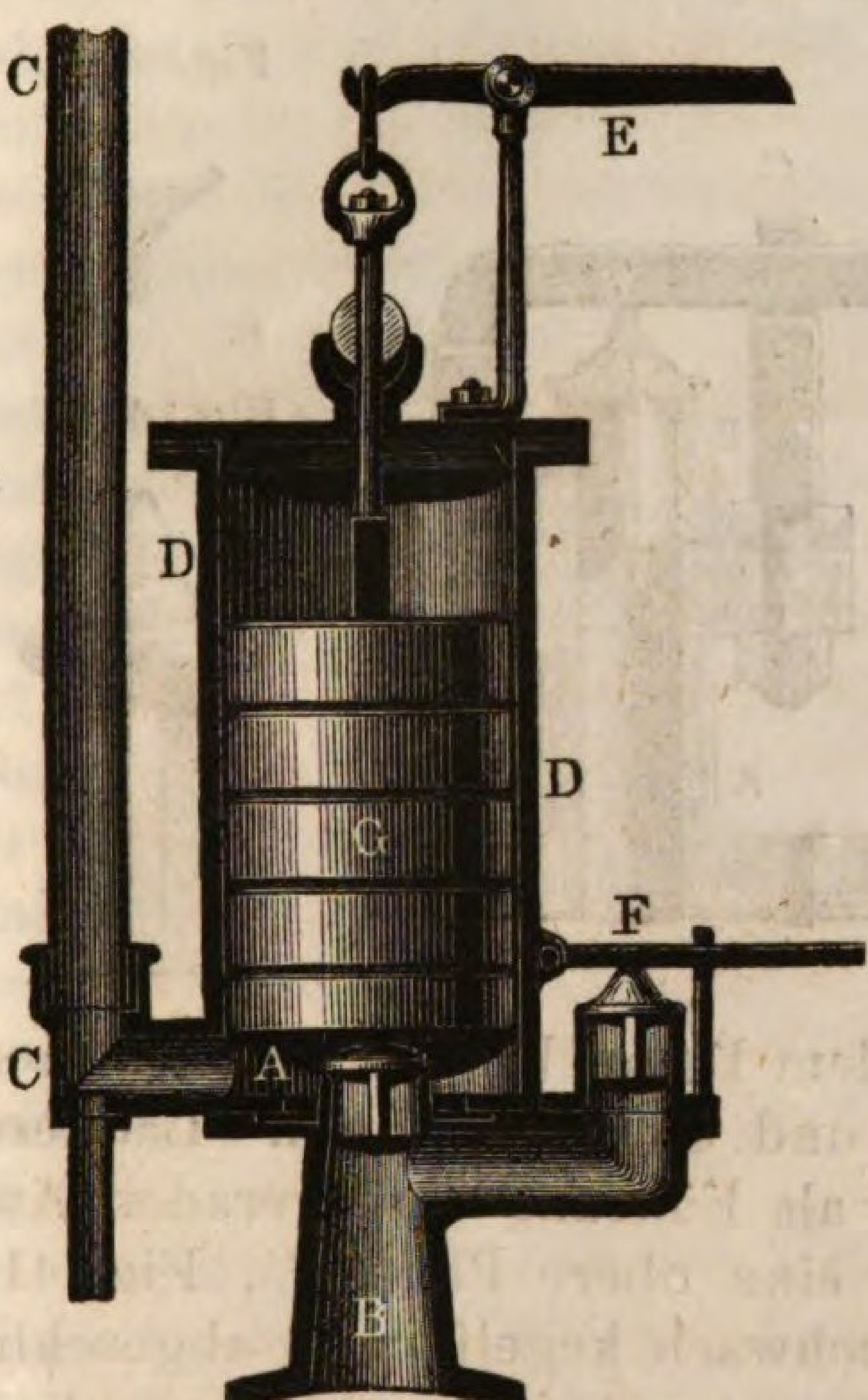
Angesichts so grosser Gefahren, welche mit dem Betriebe eines Dampfkessels verbunden sind, und um denselben vor einer Explosion möglichst zu bewahren, begnügt man sich nicht damit, ihm die gehörige Festigkeit zu geben, sondern man versieht ihn zugleich mit mehreren einzelnen Theilen, welche theils selbstwirkend sind und dem Dampfe rechtzeitig einen Ausweg verschaffen, wenn er an der Gränze der höchsten Spannung angekommen ist, theils auch dem Maschinenwärter jederzeit über den Wasserstand und den Grad der Dampfspannung zuverlässige Auskunft geben. Diese Theile sind 1. die Sicherheitsventile, 2. die Manometer, 3. die Wasserstandsanzeiger und 4. die Speisevorrichtungen.

262 **Die Sicherheitsventile** haben den Zweck, die Dampfspannung unter einer bestimmten Gränze zu erhalten und dem überflüssigen Dampfe einen Ausweg zu verschaffen, wenn durch sein Verbleiben im Kessel jene Gränze überschritten werden würde. Man unterscheidet Sicherheitsventile mit directer, mit indirecter oder Hebel-, und mit Federbelastung.

Ein Sicherheitsventil mit directer Belastung ist in Fig. 413 abgebildet. *A* ist das Ventil, welches genau auf die ringförmige Stirnfläche des auf dem Dampfkessel befestigten Ventilsitzes *B* passt. Auf den Kopf des Ventils *A* ist eine vierkantige Eisenstange *A'* eingeschraubt, über welche die schei-

benförmigen Belastungsgewichte *G G* aus Gusseisen geschoben werden; letztere ruhen auf einer Platte, die unmittelbar auf dem Kopfe des Ventils angebracht ist. *C C* ist das Dampfableitungsrohr, *L* ein kurzes Rohr, durch welches das in *D* und *C* condensirte Wasser abfliesst, *D D* der durch einen flachen Deckel *K* geschlossene Ventilkasten, dessen Inneres dem Heizer unzugänglich ist. Bei *A''* geht die Stange *A'* durch eine Stopfbüchse und ihr oberes Ende bildet ein Auge, in welches der kürzere Arm eines zum Lüften des Ventils dienenden Hebels *E* eingreift. Zur Seite des Ventilkastens befindet sich häufig noch ein zweites Ventil *F* mit Hebelbelastung, worüber wir gleich sprechen werden.

Fig. 413.



Wenn man die Grösse der Ventilfläche und die Dampfspannung kennt, welche im Kessel nicht überschritten werden darf, so ist es leicht, die Belastung, womit dasselbe beschwert werden muss, zu berechnen. Ein Beispiel wird dieses sogleich klar machen. Der Durchmesser des Ventils sei $3^1/_4$ Zoll, so ist die Kreisfläche desselben 8,295 Quadratzoll. Wenn nun die höchste Dampfspannung 4 Atmosphären oder $4 \times 14 = 56$ Pfund auf 1 Quadratzoll betragen soll, so ist der höchste zulässige Druck gegen die untere Fläche des Ventils $56 \times 8{,}295 = 464{,}52$ Pfund. Auf die obere Fläche desselben wirkt nun zunächst der Druck der atmosphärischen Luft mit 14 Pfund pro Quadratzoll, im Ganzen also mit $14 \times 8{,}295 = 116{,}13$ Pfund; zieht man diesen Druck von 464,52 Pfund ab, so bleiben noch 348,39 Pfund übrig, welche dem Gewichte des Ventils, der Stange und der Belastungsscheiben gleich sein müssen. Man hat daher das Gewicht des Ventils und seiner Stange zu bestimmen; es sei dieses 16,25 Pfund, so müssen die Belastungsscheiben insgesammt noch $348{,}39 - 16{,}25 = 332{,}14$ Pfund wiegen.

Da das directe Belastungsgewicht des Sicherheitsventils bei hoher Dampfspannung sehr bedeutend ist, so wendet man in solchen Fällen lieber ein Ventil mit **Hebelbelastung** an, dessen einzelne Theile aus den Figuren 414, 415, 416 zu er-

Fig. 414.

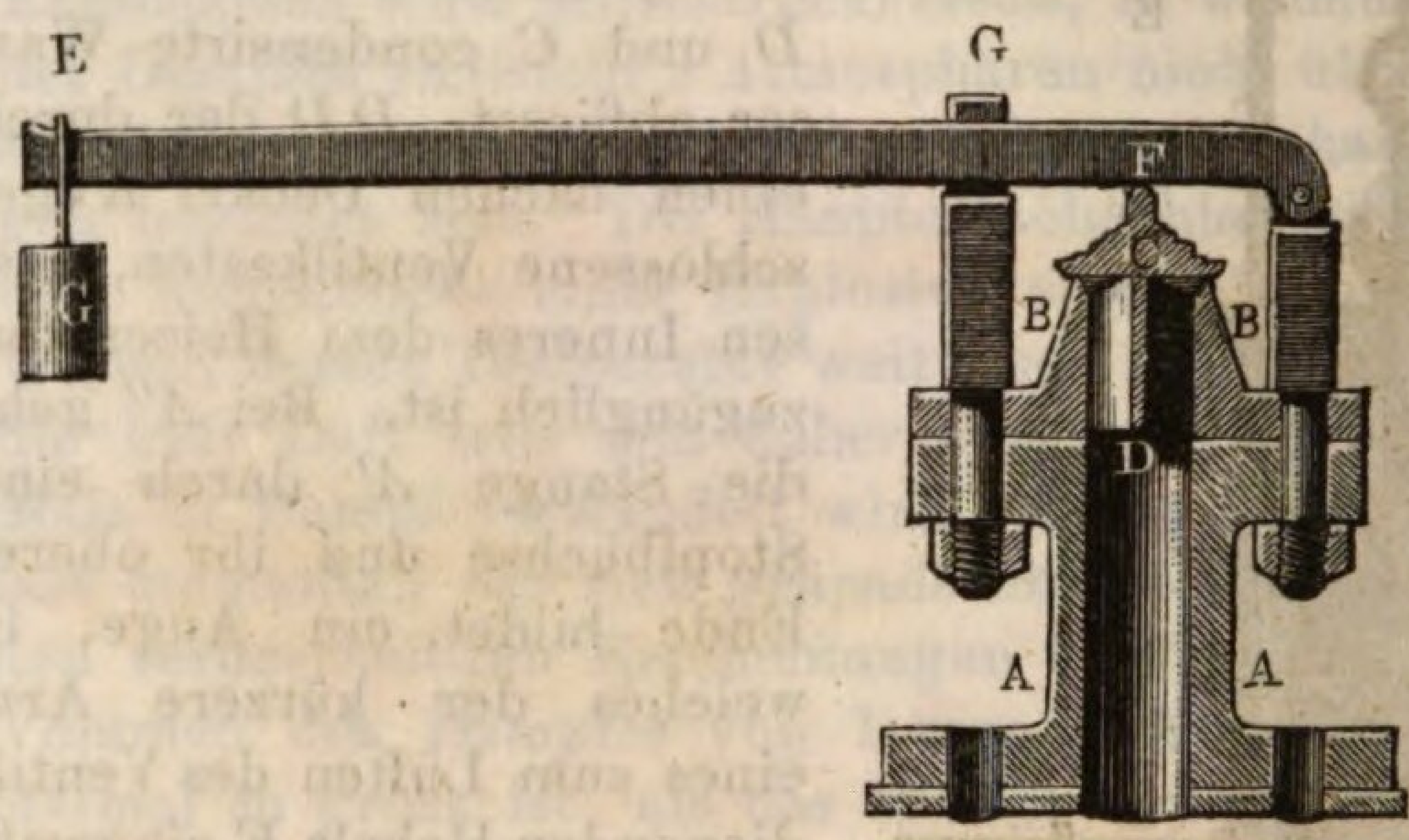


Fig. 415.



Fig. 416.



kennen sind. *AA* ist das auf dem Dampfkessel befestigte Ventilgehäuse, *BB* der Ventilsitz und *CD* das Ventil. Letzteres hat drei Flügel, Fig. 415, die als Führung zum geraden Auf- und Niedergehen dienen, und eine obere Platte *C*, Fig. 416, deren untere Seite am Rande schwach kegelförmig abgeschliffen ist und genau in den entsprechend ausgeschliffenen Ventilsitz *BB* passt. Der Hebel *EF* ruht bei *F* auf dem Ventilstifte; durch ein am freien Endpunkte des Hebels aufgehängtes Gewicht *G* wird bei *F* ein angemessener Druck auf das Ventil ausgeübt, der so zu bemessen ist, dass der von oben nach unten wirkende Gesammtdruck in *F* mit dem Maximaldruck, den das Ventil durch den Dampf von unten nach oben zu erleiden hat, im Gleichgewicht steht. Da nach den Gesetzen des Hebels ein am Ende des Hebels aufgehängtes Gewicht *G* einen um so grösseren Druck in *F* ausübt, je näher *F* dem Drehpunkte liegt, so ist leicht einzusehen, dass das Belastungsgewicht *G* hier viel kleiner sein kann, als es bei dem vorigen Ventile der Fall war.

Auch hier ist die Berechnung des Gewichtes *G* einfach. Nehmen wir wieder wie vorhin an, dass der Durchmesser des Ventils 3¼ Zoll, also die Kreisfläche desselben 8,295 Quadratzoll ist, und die höchste Dampfspannung im Kessel 4 Atmosphären oder 56 Pfund pro Quadratzoll, folglich der höchste zulässige Druck gegen die untere Ventilfläche 464,52 Pfund beträgt.

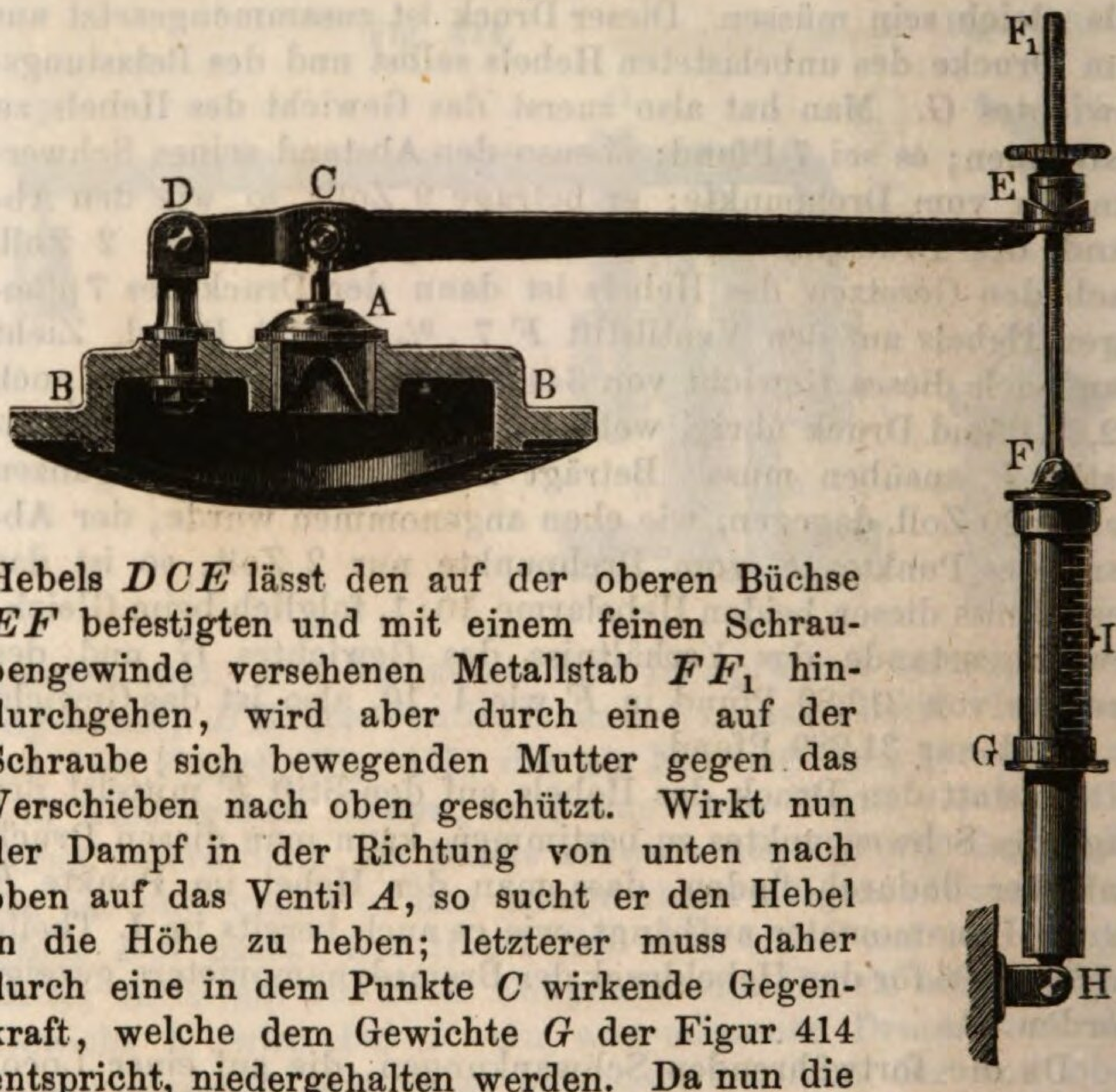
Nach Abzug des auf die Aussenfläche des Ventils wirkenden Luftdruckes von 116,13 Pfund und des Gewichtes des Ventils, das 4 Pfund betragen möge, bleiben noch 344,39 Pfund übrig, welche dem auf den Ventilstift F wirkenden Druck des Hebels gleich sein müssen. Dieser Druck ist zusammengesetzt aus dem Drucke des unbelasteten Hebels selbst und des Belastungsgewichtes G. Man hat also zuerst das Gewicht des Hebels zu bestimmen; es sei 7 Pfund; ebenso den Abstand seines Schwerpunktes vom Drehpunkte; er betrage 9 Zoll; so wie den Abstand des Druckpunktes F vom Drehpunkte; er sei 2 Zoll. Nach den Gesetzen des Hebels ist dann der Druck des 7pfündigen Hebels auf den Ventilstift F $7 \cdot {}^9/_2 = 31^1/_2$ Pfund. Zieht man auch dieses Gewicht von 344,39 Pfund ab, so bleiben noch 312,89 Pfund Druck übrig, welche das Gewicht G auf den Ventilstift F ausüben muss. Beträgt nun die Länge des ganzen Hebels 20 Zoll, dagegen, wie eben angenommen wurde, der Abstand des Punktes F vom Drehpunkte nur 2 Zoll, so ist das Verhältniss dieser beiden Hebelarme 10 : 1, folglich beim Gleichgewichtszustande das Verhältniss des Gewichtes G und des Druckes von 312,89 Pfund in F wie 1 : 10, also ist das Gewicht G selbst nur 31,289 Pfund.

Anstatt den Druck des Hebels auf den Stift F mittelst der Lage des Schwerpunktes zu bestimmen, kann man diesen Druck einfacher dadurch finden, dass man den Hebel im Punkte F an ein Dynamometer aufhängt, wie es auch bereits im I. Theile auf Seite 495 für den Hebeldruck des Bremsdynamometers gezeigt worden ist.

Da die fortwährenden Schwankungen, die auf einer Locomotive statt finden, der Anwendung der vorhin beschriebenen Sicherheitsventile hinderlich sind, so werden bei Maschinen dieser Art die Ventile nicht mit Gewichten, sondern mit Federdruck belastet. Ein solches Federventil zeigt die Fig. 417 (a. f. S.). Der gusseiserne auf dem Dache des Kessels aufgeschraubte Hut BB enthält den Sitz für das Ventil A. Der Belastungshebel DCE hat in D seinen Drehpunkt und in C einen Stift, mit welchem er den nöthigen Druck auf das Ventil ausübt. Die Belastung selbst wird durch die Spannkraft einer Federwage $EFGH$ ausgeübt. Letztere besteht aus zwei übereinander geschobenen Büchsen, von denen die untere bei H befestigt ist, und die andere GF sich über diese lelztere hin- und herschieben lässt. Die beiden äusseren Enden H, F dieser Büchsen werden durch eine im Innern befindliche starke Spiralfeder be-

ständig gegen einander gezogen, so dass es einer aufwärts wirkenden Kraft bedarf, um dieselben ganz oder theilweise von einander zu halten. Das scheibenförmig gestaltete Ende E des

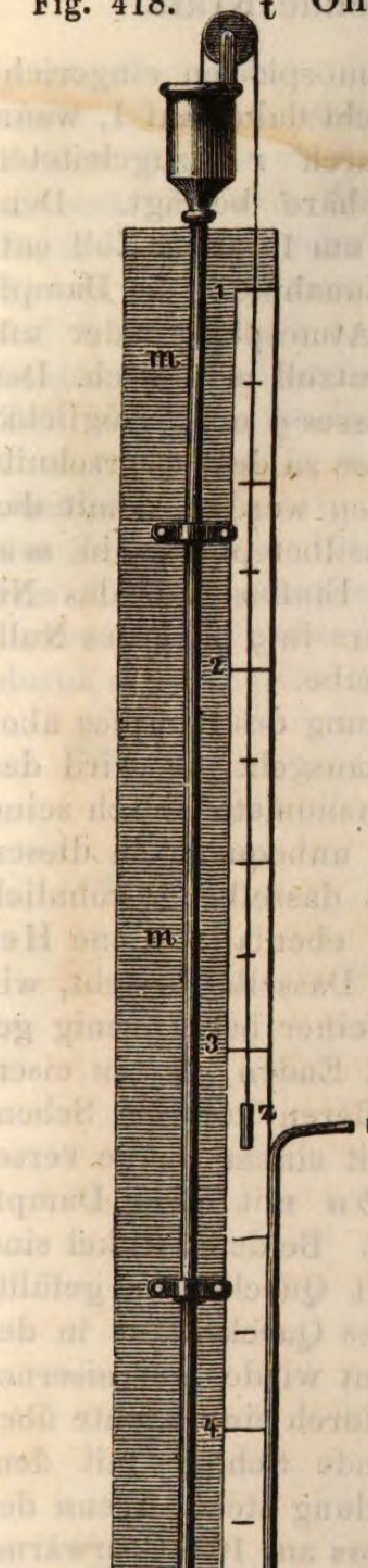
Fig. 417.



Hebels DCE lässt den auf der oberen Büchse EF befestigten und mit einem feinen Schraubengewinde versehenen Metallstab FF_1 hindurchgehen, wird aber durch eine auf der Schraube sich bewegenden Mutter gegen das Verschieben nach oben geschützt. Wirkt nun der Dampf in der Richtung von unten nach oben auf das Ventil A, so sucht er den Hebel in die Höhe zu heben; letzterer muss daher durch eine in dem Punkte C wirkende Gegenkraft, welche dem Gewichte G der Figur 414 entspricht, niedergehalten werden. Da nun die in H und F befestigte Feder das Bestreben hat, die Büchse GF und damit zugleich die Schraube und das Hebelende E herabzuziehen, so braucht die Spannkraft der Feder durch die Schraube E nur so regulirt zu werden, dass ihre Zugkraft im Stande ist, das Gewicht G der Fig. 414 zu ersetzen. Die Grösse dieser Zugkraft wird auf einer an GH angebrachten Scala, zu welcher die innere Büchse den aus einem Schlitze hervorragenden Zeiger I trägt, abgelesen.

263 **Das offene Quecksilbermanometer.** Es sind bereits in den §§. 51 und 52 unter dem Namen der Manometer Vorrichtungen beschrieben worden, welche dazu dienen, den Druck der Gase zu bestimmen; wir haben daher hier nur diejenigen Einrichtungen näher zu erörtern, welche diese Vorrichtungen

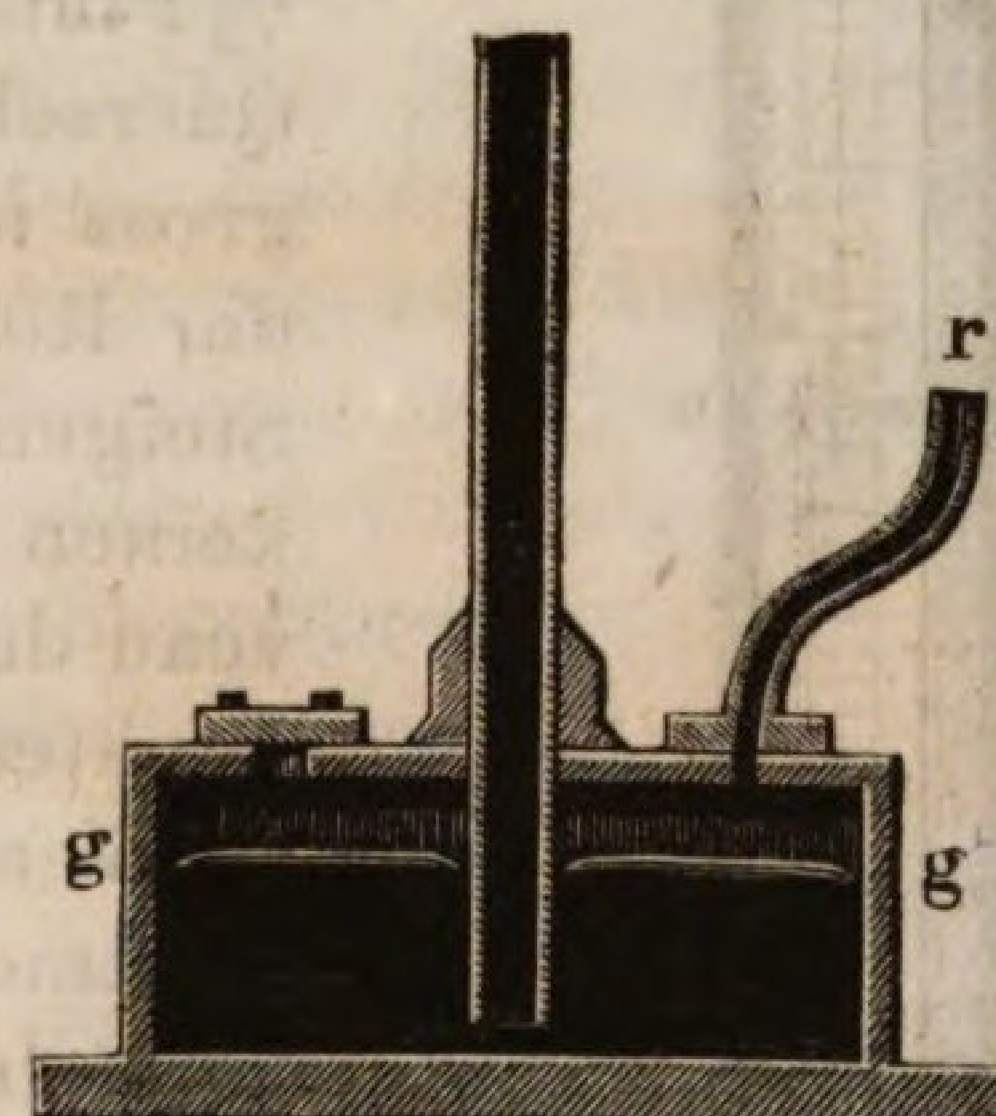
Fig. 418.



haben müssen, um die Spannung der Dämpfe angeben zu können.

Das einfachste Instrument dieser Art ist das sogenannte offene Quecksilbermanometer. Es besteht, Fig. 418 und Fig. 419, aus einer an beiden En-

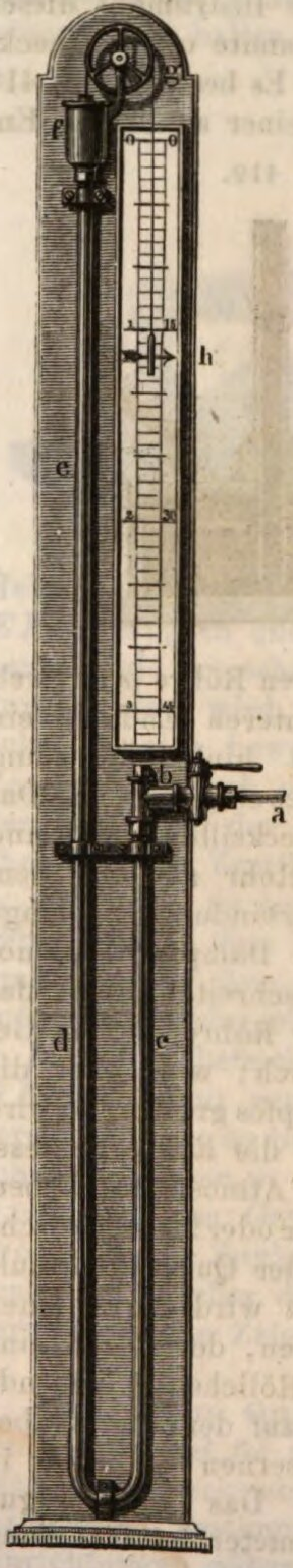
Fig. 419.



den offenen eisernen Röhre *mm*, welche mit ihrem unteren Ende in ein eisernes Gefäss *g* hinabreicht und dampfdicht in dieses eingefügt ist. Das Gefäss *g* ist mit Quecksilber gefüllt und steht durch ein Rohr *rr* mit dem Dampfkessel in Verbindung. So lange die Spannung des Dampfes 1 Atmosphäre nicht überschreitet, steht das Quecksilber in der Röhre und im Gefässe *g* gleich hoch; wird aber die Spannung des Dampfes grösser, so wird das Quecksilber in die Röhre gepresst und zwar für jede Atmosphäre Ueberdruck um 28 pariser oder 29 preussische Zoll. Der Stand der Quecksilbersäule in dem Rohre *mm* wird durch einen Zeiger *z* angegeben, der durch eine leichte über ein Röllchen *t* gehende Schnur mit einem auf dem Quecksilber schwimmenden eisernen Stäbchen in Verbindung steht. Das in der Figur gezeichnete Manometer ist für einen

wirklichen Druck des Dampfes von 5 Atmosphären eingerichtet; der Zeiger *z* steht daher auf 1, wenn der Druck des durch *r r* zugeleiteten Dampfes 1 Atmosphäre beträgt. Dem Sinken des Zeigers um 1 pariser Zoll entspricht daher eine Zunahme in der Dampfspannung um $1/_{28}$ Atmosphäre oder um $1/_2$ Pfund pro Quadratzoll preussisch. Der Querschnitt des Gefässes *g* muss möglichst gross im Verhältnisse zu dem Querschnitt der Röhre genommen werden, damit das Steigen des Quecksilberspiegels in *m m* keinen erheblichen Einfluss auf das Niveau des Quecksilbers in *g* oder des Nullpunktes der Scala habe.

Fig. 420.



Wenn die Spannung des Dampfes über 5 Atmosphären hinausgeht, so wird das vorstehende Gefässmanometer durch seine übermässige Länge unbequem; in diesen Fällen ersetzt man dasselbe gewöhnlich durch das kürzere, ebenfalls offene Hebermanometer. Dasselbe besteht, wie Fig. 420 zeigt, aus einer heberförmig gebogenen an beiden Enden offenen eisernen Röhre *cdef*, deren kürzerer Schenkel *c* durch ein mit einem Hahne versehenes Rohrstück *b a* mit dem Dampfkessel communicirt. Beide Schenkel sind bis zur Höhe *b* mit Quecksilber gefüllt; auf dem Niveau des Quecksilbers in der Röhre *de* schwimmt wieder ein eisernes Stäbchen, welches durch eine leichte über die Rolle *g* gehende Schnur mit dem Zeiger *h* in Verbindung steht. Wenn der Kessel kalt oder bloss auf 100° C. erwärmt ist, und die Dämpfe nur die Spannung von 1 Atmosphäre haben, so steht das Quecksilber in beiden Schenkeln *c* und *d* gleich hoch; der Zeiger *h* steht dann auf 0, um anzuzeigen, dass der Dampf noch keinen Ueberdruck über den Druck der atmosphärischen Luft besitze. Wenn da-

gegen die Spannung des Dampfes zunimmt, so sinkt das Quecksilber in *c* und steigt um ebenso viel in *d*; der Stand des Zeigers *h* giebt dann die Niveauveränderung der beiden Quecksilbersäulen und damit auf der Scala den Ueberdruck des Dampfes in Zoll oder Pfund an. Wenn die Dampfspannung im Kessel um 1 pariser Zoll Quecksilberhöhe oder um $1/_2$ Pfund auf 1 Quadratzoll zunimmt, so muss die Niveaudifferenz der beiden Quecksilbersäulen in den Schenkeln *c* und *d* 1 pariser Zoll betragen; das Quecksilber sinkt daher in *c* nur um $1/_2$ Zoll, ebenso steigt es in *d* nur um $1/_2$ Zoll, der Zeiger *h* sinkt daher ebenfalls nur um $1/_2$ Zoll. Man sieht hieraus, dass ein Sinken des Zeigers *h* um 14 Zoll einer Zunahme der Dampfspannung von 1 Atmosphäre entspricht, während bei dem Gefässmanometer eine gleiche Zunahme der Dampfspannung den Zeiger durch eine Strecke von 28 Zoll bewegen muss.

Fig. 421.

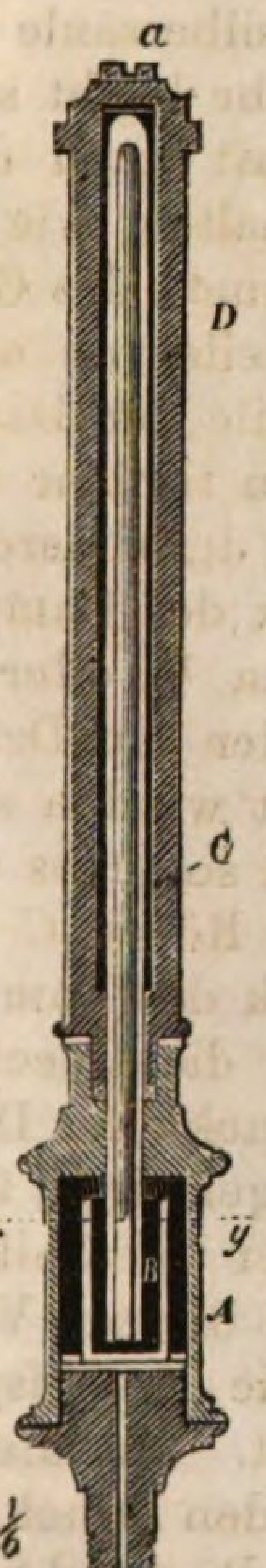
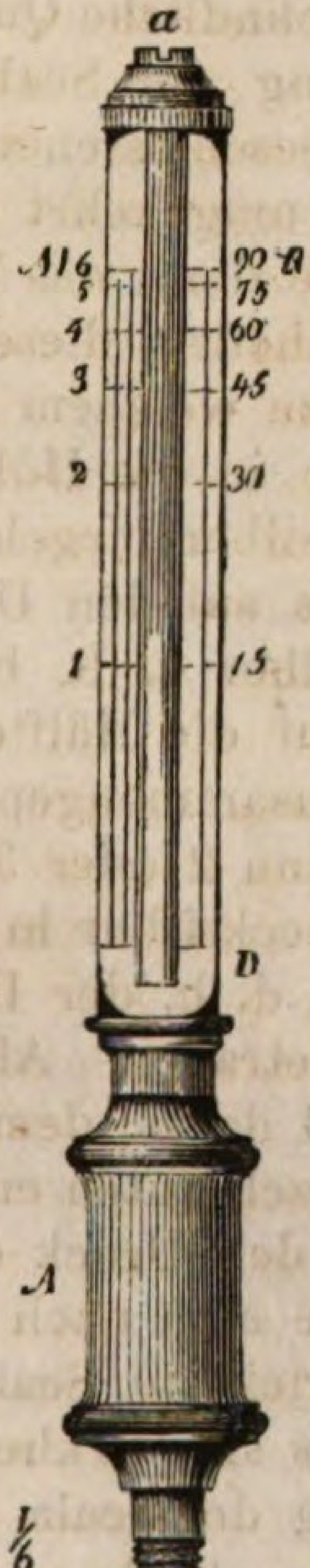


Fig. 422.



Das geschlossene Quecksilbermanometer, welches 264
in Fig. 421 und Fig. 422 im verticalen Durchschnitte und in der vorderen Ansicht abgebildet ist, besteht aus einem oben zugeschmolzenen Glasrohre *C* von etwa 16 Zoll Länge und einem Quecksilbergefässe *B*, welches letztere von einer eisernen Büchse *A* umgeben ist. Das Glasrohr *C*, welches oben durch die Schraube *a* und von einem zwischengelegten Korkstück gehalten wird, ist mit atmosphärischer Luft von gewöhnlicher Spannung angefüllt, geht dampfdicht durch die Metallfassung der Büchse *A* hindurch und reicht mit seinem unteren Ende bis nahe an den Boden des Gefässes *B*. Um dasselbe gegen das Zerbrechen zu schützen, ist es mit einem metallenen

Rohre oder einem halbcylinderförmigen Mantel *D* umgeben, der auf der Vorderseite der Länge nach aufgeschlitzt ist und das Glas in einem schmalen Streifen frei lässt. Der Dampf hat durch den Kanal *r*, der sich zwischen *B* und *A* verzweigt, Zutritt in die Büchse *A* und zu dem Niveau des Quecksilbers in *B*.

So lange die Spannung des Dampfes 1 Atmosphäre nicht überschreitet, steht das Quecksilber bis zur Linie *xy* ebenso hoch in dem Glasrohre, als in dem Gefässe *B*; nimmt aber die Dampfspannung zu, so treibt der Ueberdruck desselben das Quecksilber aus dem Gefässe *B* in die Röhre *C*, wobei die in *C* eingeschlossene Luft zusammengedrückt wird. Je mehr der Dampf gespannt wird, um so höher steigt das Quecksilber in der Röhre *C*, und da der Stand desselben von aussen durch den Schlitz leicht beobachtet werden kann, so kann man an der auf dem Metallmantel angebrachten Scala den Ueberdruck des Dampfes in Atmosphärentheilen oder in Pfunden auf den Quadratzoll ablesen.

Wäre die in dem Glasrohre befindliche Quecksilbersäule gewichtlos, so würde die Eintheilung der Scala sehr leicht sein, da sich die Volumina einer eingeschlossenen Luft nach dem Mariotte'schen Gesetze (§. 43) umgekehrt verhalten, wie die drückenden Kräfte. Man brauchte dann das Volumen des Glasrohrs nur in $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$. . einzutheilen, diese Theile von oben abzutragen und zuzusehen, bis zu welchem Theile der Dampf das Quecksilber in der Glasröhre in die Höhe zu treiben vermag; aus dem Stande des Quecksilberspiegels in der Glasröhre könnte man dann ohne Weiteres auf den Druck des Dampfes schliessen. Reichte das Quecksilber z. B. bis zu $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{3}$, so würde die Luft beziehlich auf die Hälfte oder ein Drittel ihres ursprünglichen Volumens zusammengepresst worden sein, der Druck des Dampfes würde dann 2 oder 3mal so gross sein als er anfänglich war, wo das Quecksilber in der Röhre *C* und im Gefässe *B* gleich hoch stand, d. h. der Druck des Dampfes würde 2 oder 3 Atmosphären betragen. Allein die Quecksilbersäule ist nicht gewichtlos, und da sie dem Drucke des Dampfes in der Richtung von oben nach unten entgegenwirkt, folglich der Dampfdruck auch noch den Druck dieser Quecksilbersäule überwinden muss, so würde eine nach den blossen Volumentheilen der Glasröhre eingerichtete Scala die Dampfspannung stets niedriger angeben, als sie wirklich ist. Aus diesem Grunde muss bei der Anfertigung der Scala auf den Druck der in der Glasröhre enthaltenen Quecksilbersäule Rücksicht ge-

nommen werden. Die auf der linken Seite befindliche Eintheilung in der Fig. 422 giebt den Ueberdruck des Dampfes in Atmosphären an, die auf der rechten Seite stehenden Zahlen beziehen sich noch auf das frühere Gewichtssystem, wonach 1 Atmosphäre gleich 15 Pfund auf den Quadratzoll war.

Das geschlossene Manometer ist zwar sehr einfach und bequem, allein es leidet an dem Uebelstande, dass sich das Quecksilber durch die Aufnahme des Sauerstoffs aus der comprimirten Luft im Laufe der Zeit oxydirt, und dass die Scalentheile gerade da, wo es bei bereits vorhandener hoher Dampfspannung dringend nothwendig ist, jede weitere Steigerung in der Spannung durch alle Grade leicht verfolgen zu können, sehr klein werden, und es fast unmöglich ist, zu erkennen, ob eine erhebliche Zunahme in der Dampfspannung eingetreten ist, oder nicht.

Die Metallmanometer beruhen darauf, dass metallene Ge- 265
fässe oder Platten durch einen Druck, der auf sie ausgeübt wird, ihre Form mehr oder weniger ändern. Da sie nur sehr wenig Raum einnehmen, kein Quecksilber enthalten und den Dampfdruck durch einen Zeiger auf einem Zifferblatte anzeigen, so sind sie sowohl bei der Aufstellung, als beim Gebrauche sehr bequem; sie sind daher sehr verbreitet und zeigen mannigfaltige Verschiedenheiten in ihrer Construction.

Zu den besten Manometern dieser Art gehört das zuerst vom Maschinenmeister Schinz erfundene, gewöhnlich aber dem Franzosen Bourdon zugeschriebene Röhrenmanometer und das Plattenmanometer von Schaeffer und Budenberg in Magdeburg.

Ersteres besteht, wie Fig. 423 (a. f. S.) zeigt, aus einer gebogenen Messingröhre BEF von elliptischem Querschnitte, Fig. 424. Das eine Ende B der Röhre ist offen und steht, wenn der Hahn DC geöffnet ist, mit dem Dampfrohre AB in Verbindung; das andere Ende F aber ist verschlossen, frei beweglich und durch eine kleine Zugstange G mit der stehenden Welle KL verbunden. Auf derselben Welle sitzt ein Zeiger Z, der auf einer in Atmosphären oder in Pfunde eingetheilten Scala H den jedesmaligen Dampfdruck angiebt. Durch den Druck des Dampfes verändert sich nämlich der elliptische Querschnitt der Messingröhre und nähert sich immer mehr dem kreisförmigen; in Folge davon sucht sich das Rohr gerade zu strecken, das geschlossene Ende G bewegt sich nach rechts und bewirkt durch die Drehung

der Welle KL das Fortrücken des Zeigers Z auf der Scala. Wenn der Dampfdruck wieder nachlässt, so nimmt die elastische

Fig. 423.

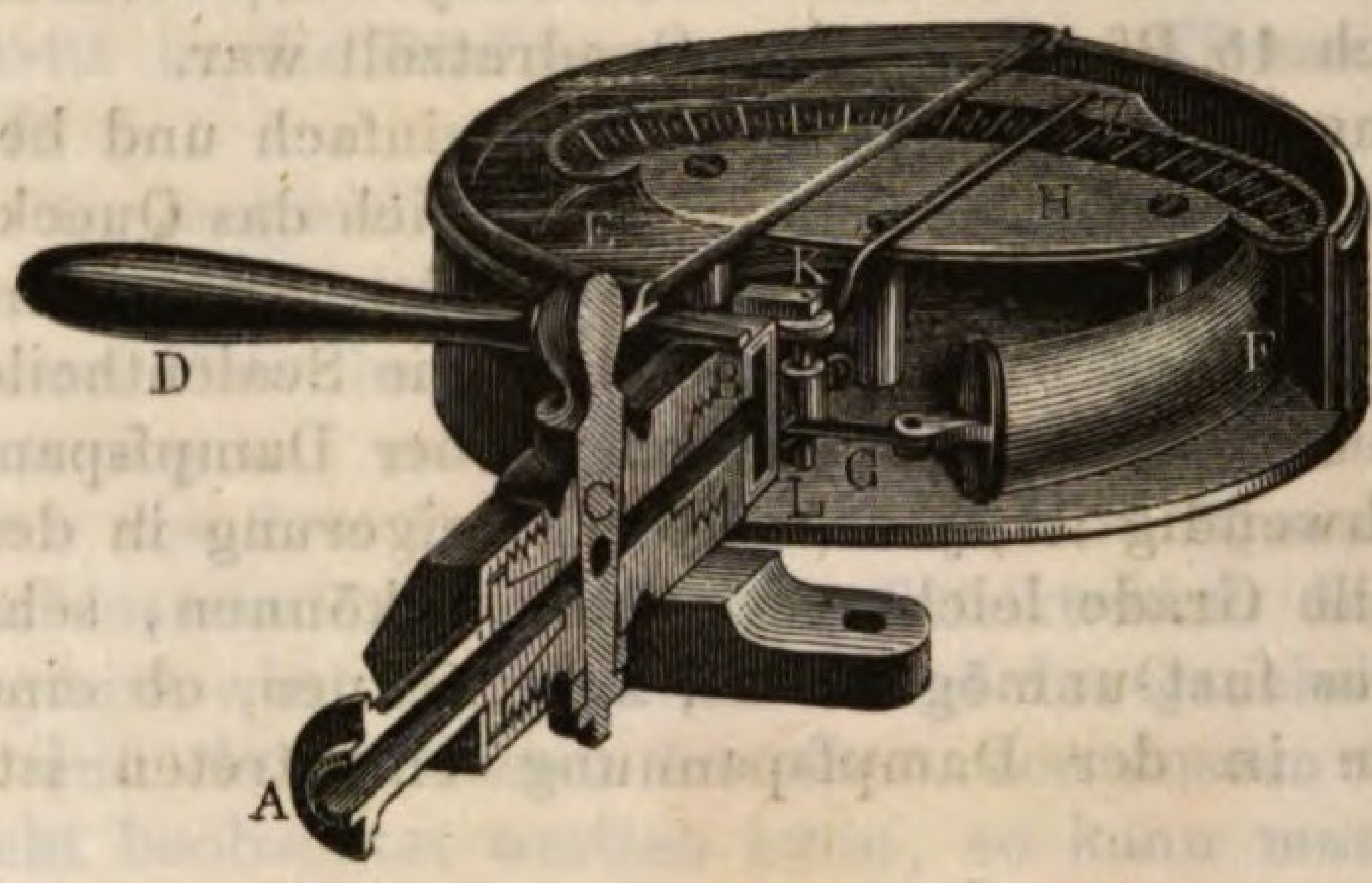
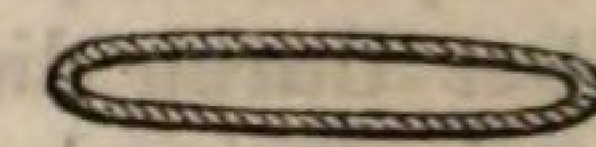


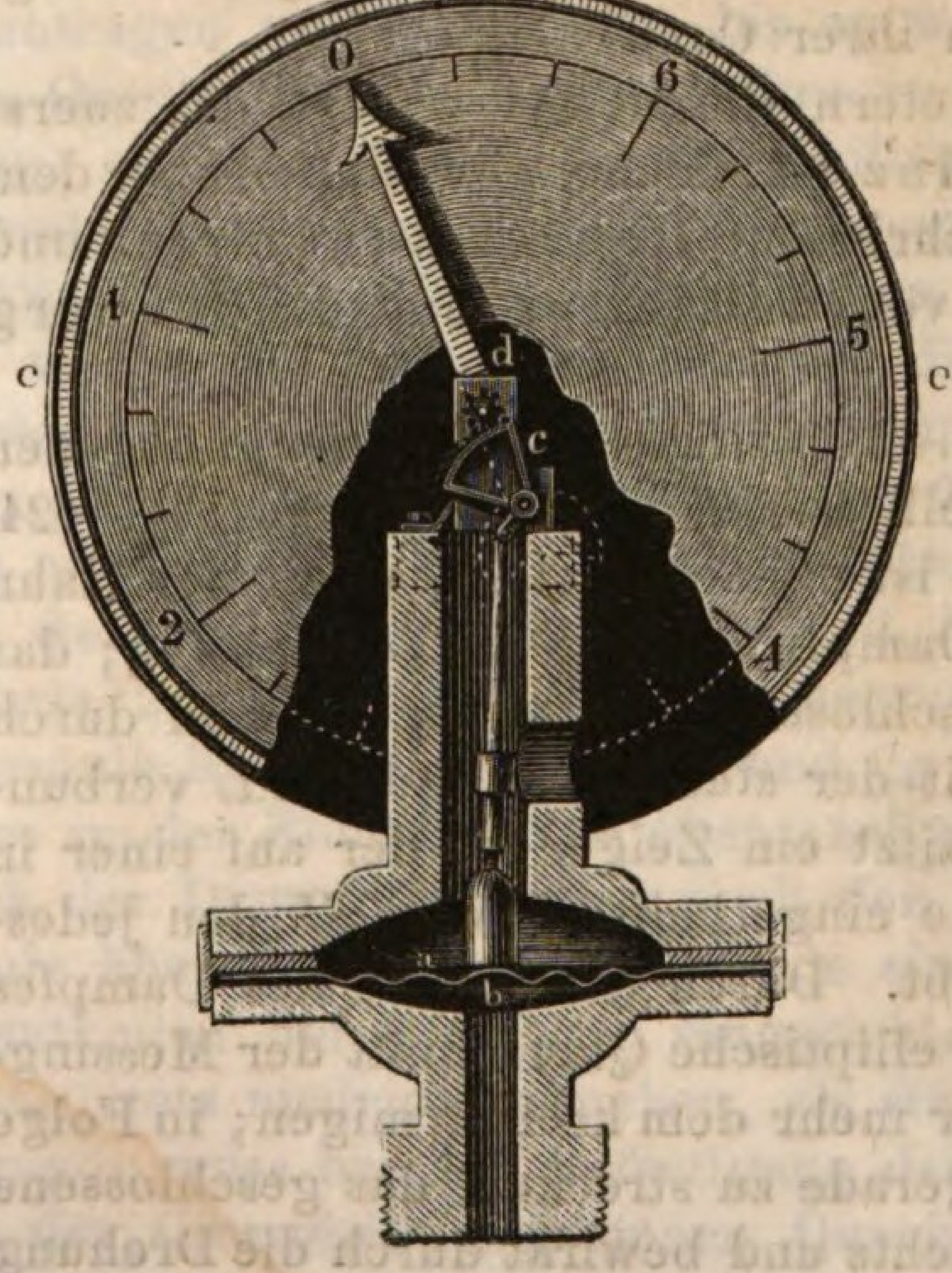
Fig. 424.



Messingröhre ihre alte Form wieder an und der Zeiger Z geht auf den Anfangspunkt der Scala zurück.

Das Plattenmanometer von Schaeffer und Budenberg verdient wegen der sorgfältigen Ausführung, der grösseren Dauerhaftigkeit und Sicherheit in den Angaben vor dem vorigen noch den Vorzug. Es besteht aus einer ringförmig gewellten Stahlplatte *a*, Fig. 425, welche zwischen zwei ringförmigen eisernen Backen eingeklemmt und auf der unteren Seite mit einer Kautschukscheibe *b* gegen die Einwirkung der Feuchtigkeit geschützt ist. Der Dampf strömt durch den unterhalb *b* befindlichen Hals in das Manometer ein und biegt die Platte *a* um so mehr in die Höhe, je stärker seine Spannung ist. Um diese an und für sich wenig bemerkbare Durchbiegung zu vergrössern und dem Auge sichtbar

Fig. 425.

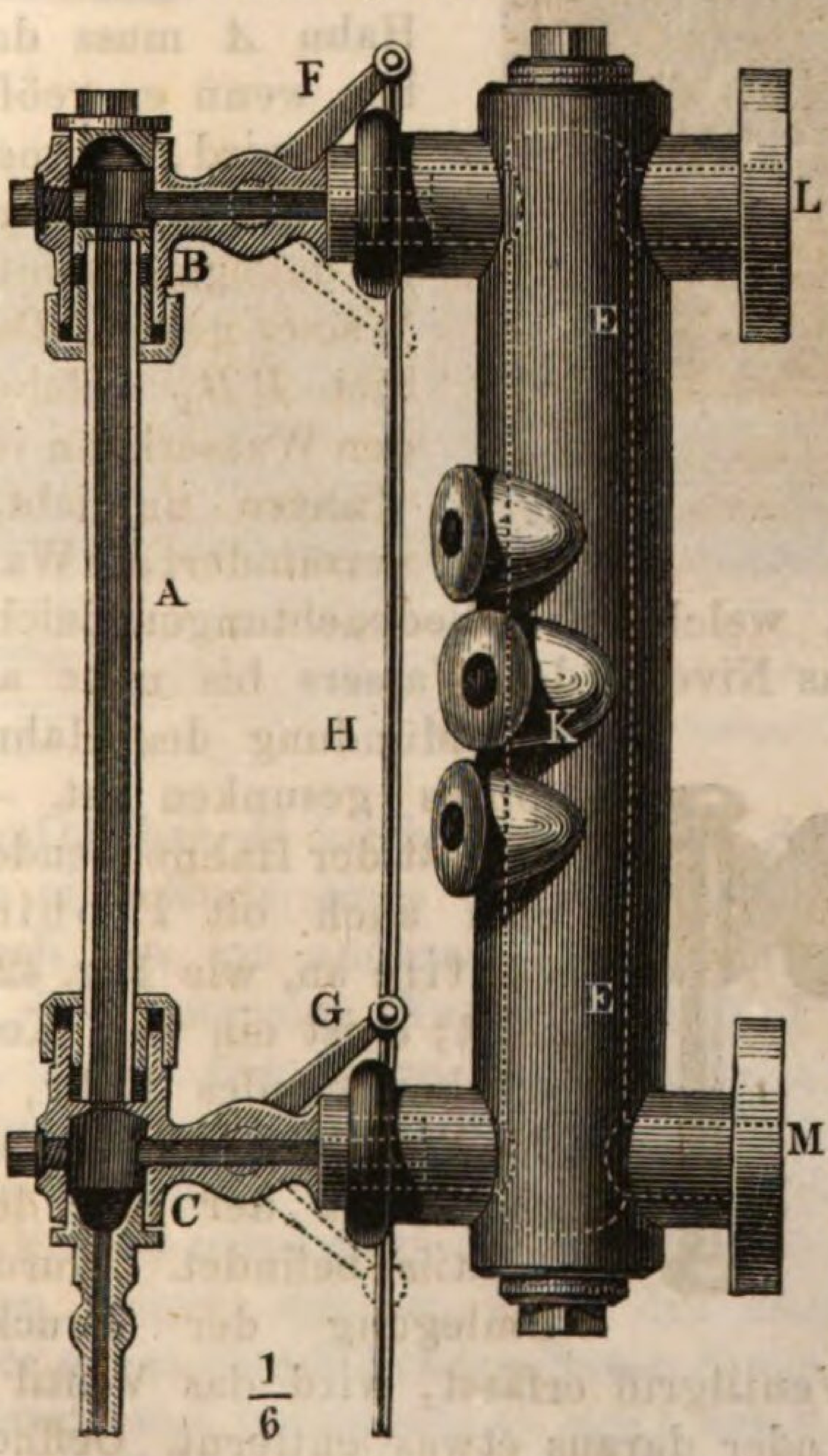


zu machen, wirkt zunächst die Platte *a* durch ein verticales Stäbchen auf einen Zahnrechen *c* und dieser auf ein kleines den Zeiger *d* tragendes Getriebe.

Die Metallmanometer erhalten ihre Eintheilung nach den Angaben eines offenen Quecksilbermanometers und zwar in der Weise, dass man sowohl das Metall- als das Quecksilbermanometer gleichzeitig mit einem Dampfkessel in Verbindung bringt und die Angaben des letzteren auf das erstere überträgt.

Die Wasserstandsanzeiger. Wir haben bereits gesehen, 266
welche Gefahren für den Kessel daraus entspringen, wenn der Wasserstand im Innern desselben bis unter die Feuerlinie sinkt und ein Theil der blossgelegten Kesselwände der directen Einwirkung der Flamme ausgesetzt ist. Es ist daher von der grössten Wichtigkeit, dass der Heizer jeden Augenblick über den Stand des Wassers im Kessel Auskunft erhalte; die Vorrichtungen, welche zu diesem Zwecke auf jeden Kessel angebracht werden müssen, heissen im Allgemeinen Wasserstandsanzeiger. Am sichersten wird der Wasserstand durch dessen directe Beobachtung an einer Wasserstandsröhre erkannt. Die Einrichtung einer solchen Röhre ist aus Fig. 426 zu ersehen. *A* ist eine starke Glasröhre, welche in die metallenen Röhren *B*, *C* dampfdicht eingekittet ist und durch diese Röhren mit dem oberen Dampf- und dem unteren Wasserraume des Kessels in Verbindung steht. In den Röhren *B* und *C* befinden sich zwei Hähne, deren Hebel *h* und *i* durch eine gemeinschaftliche Stange

Fig. 426.



k verbunden sind, mit welcher sie beide gleichzeitig geöffnet oder geschlossen werden können. Die Röhre *EE*, welche die beiden bei *e* und *f* in den Dampf- und Wasserraum des Kessels einmündenden Hähne mit einander verbindet, aber auch sehr oft weggelassen und dann durch eine blosse Haltschiene ersetzt wird, enthält noch drei Probirventile *g*. Es ist klar, dass bei geöffneten Hähnen der Kessel mit dem Glasrohre *A* frei communicirt und daher das Wasser in diesem Rohre ebenso hoch stehen muss als im Kessel.

Weniger sicher sind die Probirhähne *A*, *A'*, Fig. 427, die so angebracht sind, dass bei richtigem Wasserstande der eine *A* mit dem Dampfraume, der andere *A'* mit dem Wasser des Kessels in Verbindung stehen muss. Der obere Hahn *A* muss daher, wenn er geöffnet wird, immer Dampf, der untere *A'* dagegen immer Wasser geben. Das Sieb *BB*, welches den Wasserhahn im Innern umgiebt, vermindert die Wallungen des Kesselwassers, welche die Beobachtungen leicht unsicher machen, wenn das Niveau des Wassers bis nahe an die Mündung des Hahnrohres gesunken ist. — Anstatt der Hähne wendet man auch oft Probirventile an, wie Fig. 428 zeigt; *a* ist ein vom Kessel kommendes Rohr, *b* das Ventilgehäuse, in welchem sich der Sitz des Ventils befindet. Durch Umlegung der Druckschraube *d*, welche den Ventilgriff erfasst, wird das Ventil *c* in den Sitz hineingepresst oder daraus etwas entfernt. Oeffnet

Fig. 427.

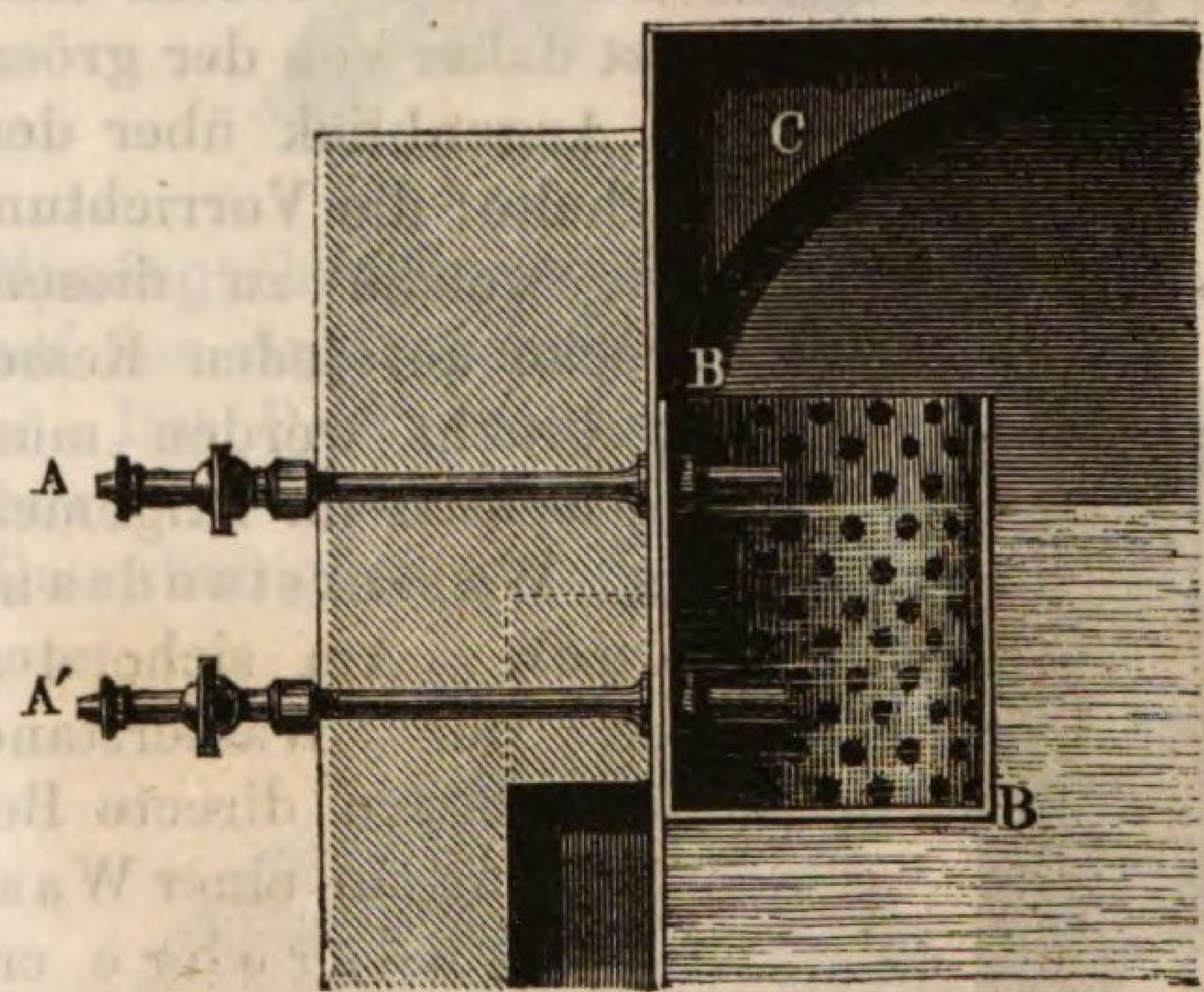
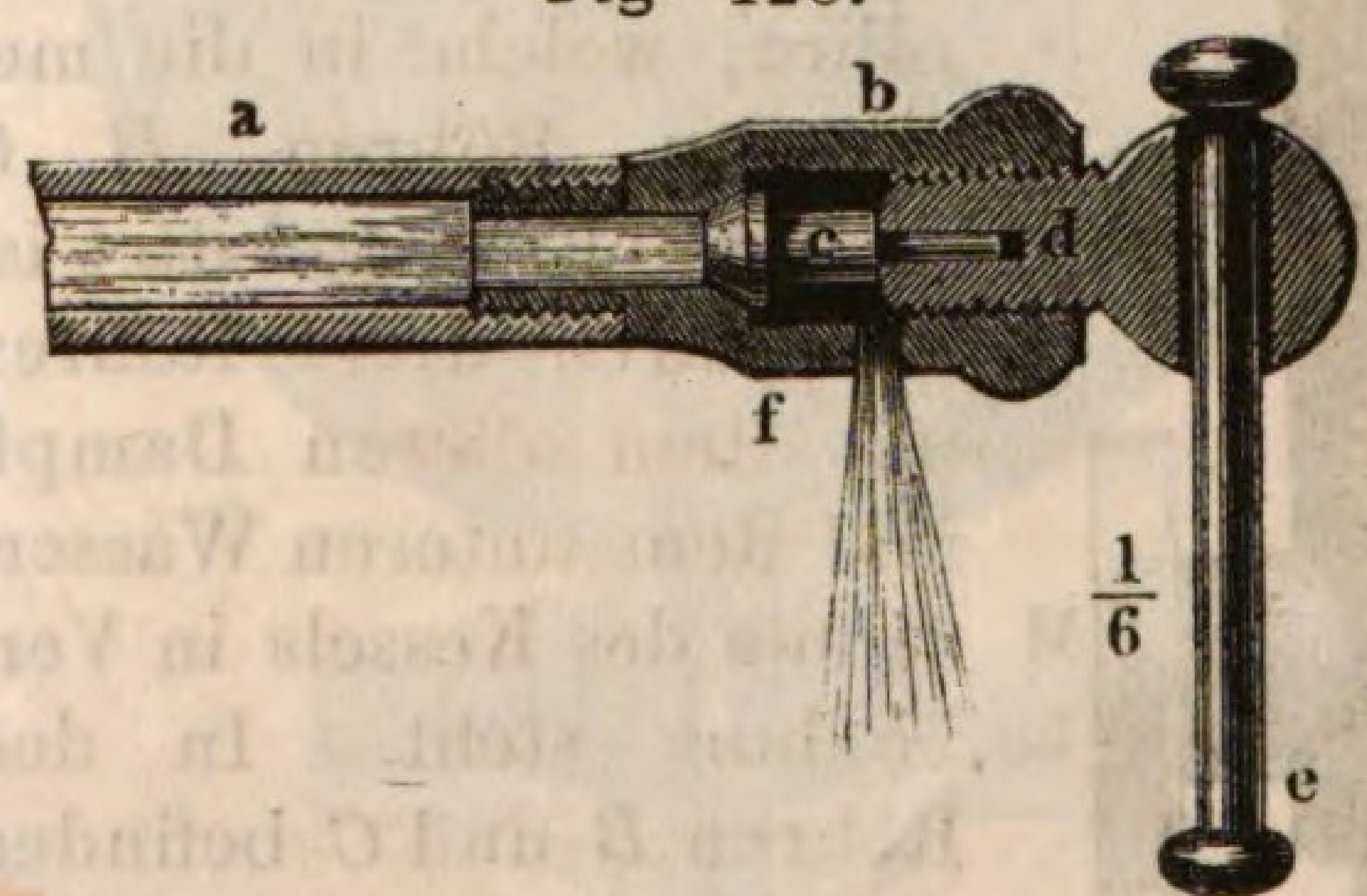


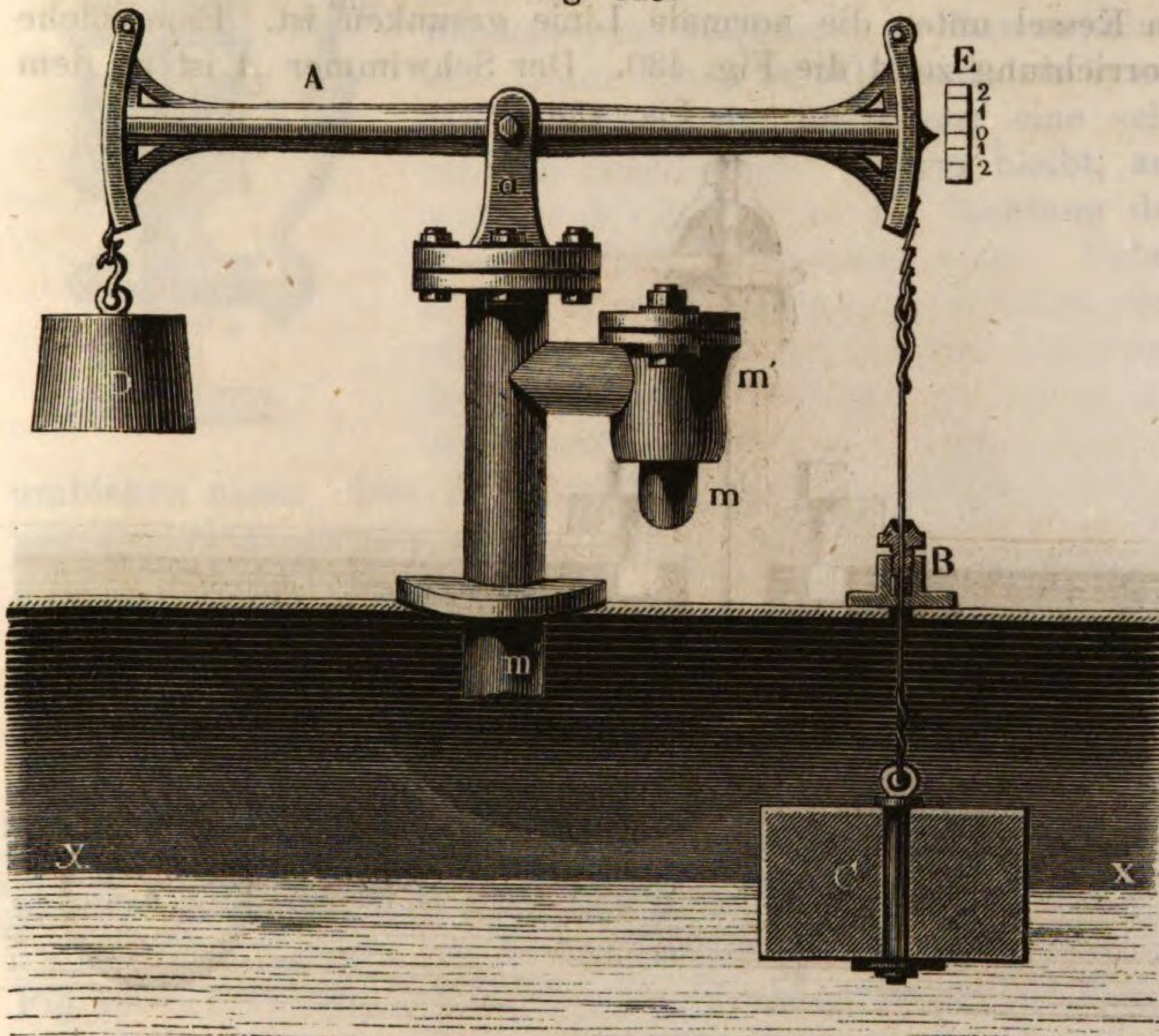
Fig. 428.



man auf diese Weise das Ventil, so strömt der Dampf oder das Wasser durch *c* und die Oeffnung *f* ins Freie.

Eine dritte Klasse von Wasserstandsanzeigern bilden die verschiedenen Schwimmer-Vorrichtungen. Dieselben bestehen im Allgemeinen aus einem eisernen oder einem steinernen Schwimmer *C*, Fig. 429, welcher mittelst eines durch eine

Fig. 429.

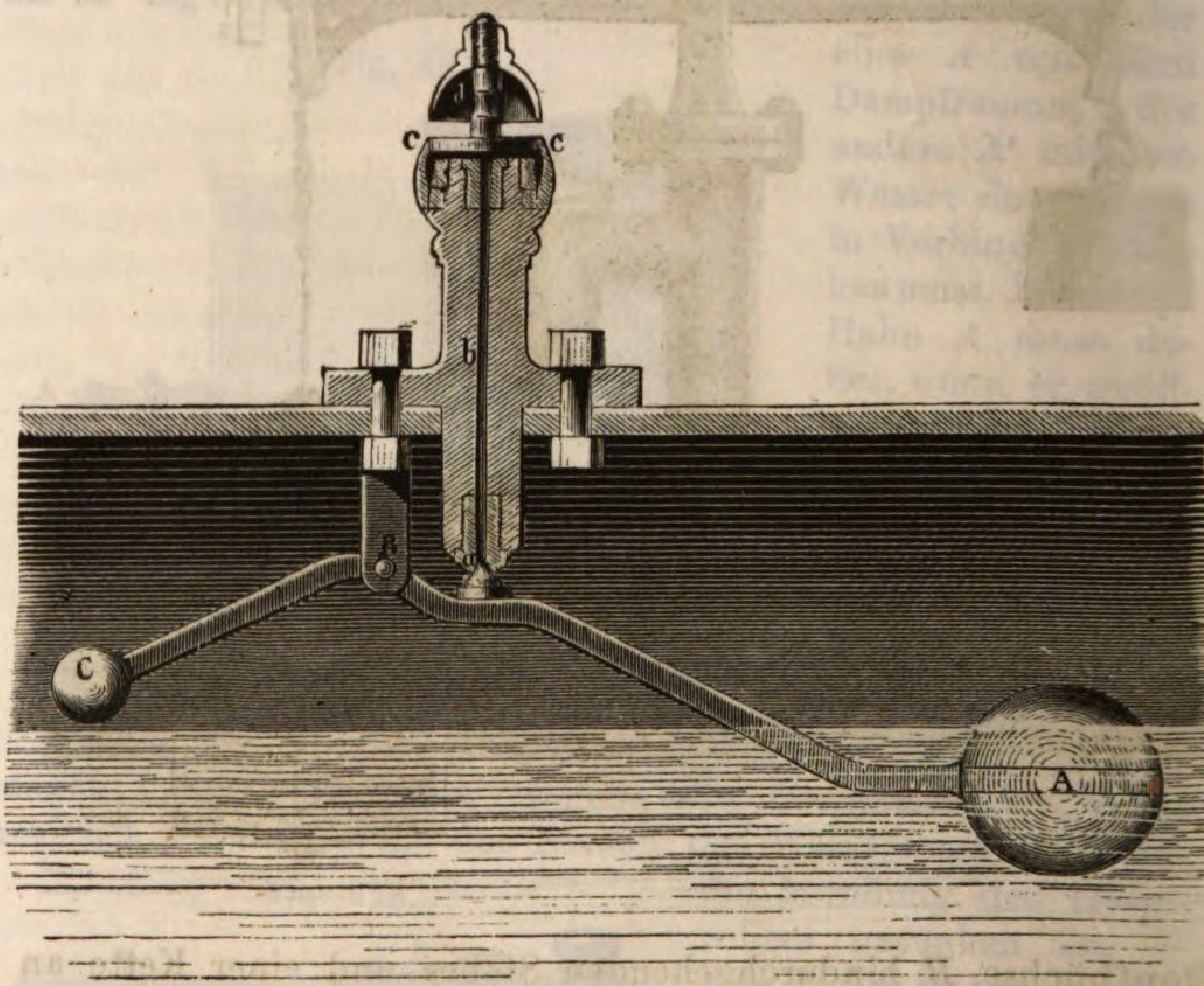


Stopfbüchse *B* hindurchgehenden Stabes und einer Kette an das eine Ende eines zweiarmigen Hebels *A* aufgehängt, und durch ein am anderen Ende angebrachtes Gegengewicht *D* bei dem normalen Wasserstande *XX* im Gleichgewicht gehalten wird. Die Achse des Hebels ruht in der Figur mit ihrem Lager *a* auf dem Druckrohre *m* der Speisepumpe, wodurch eine besondere Stütze für den Wagebalken *A* auf dem Dache des Kessels erspart wird. Der Stand des Schwimmers wird durch einen Zeiger, der am Ende des Hebels angebracht ist, auf einer gegenüberstehenden festen Scala *E* angegeben. Sinkt der Wasserstand im Kessel, so sinkt damit zugleich der Schwimmer *C*; der Zeiger bewegt sich dann abwärts und giebt an der

Scala *E* an, um wie viel der Wasserspiegel gesunken ist. Um den Schwimmer gegen die Wallungen des Wassers zu schützen, umgiebt man ihn oft noch mit einem siebartigen Gefässe, das an der Decke des Kessels befestigt ist.

In vielen Fällen verbindet man mit dem Schwimmer noch eine Alarmvorrichtung, damit der Heizer durch das Signal einer Pfeife darauf aufmerksam gemacht wird, wenn der Wasserstand im Kessel unter die normale Linie gesunken ist. Eine solche Vorrichtung zeigt die Fig. 430. Der Schwimmer *A* ist an dem

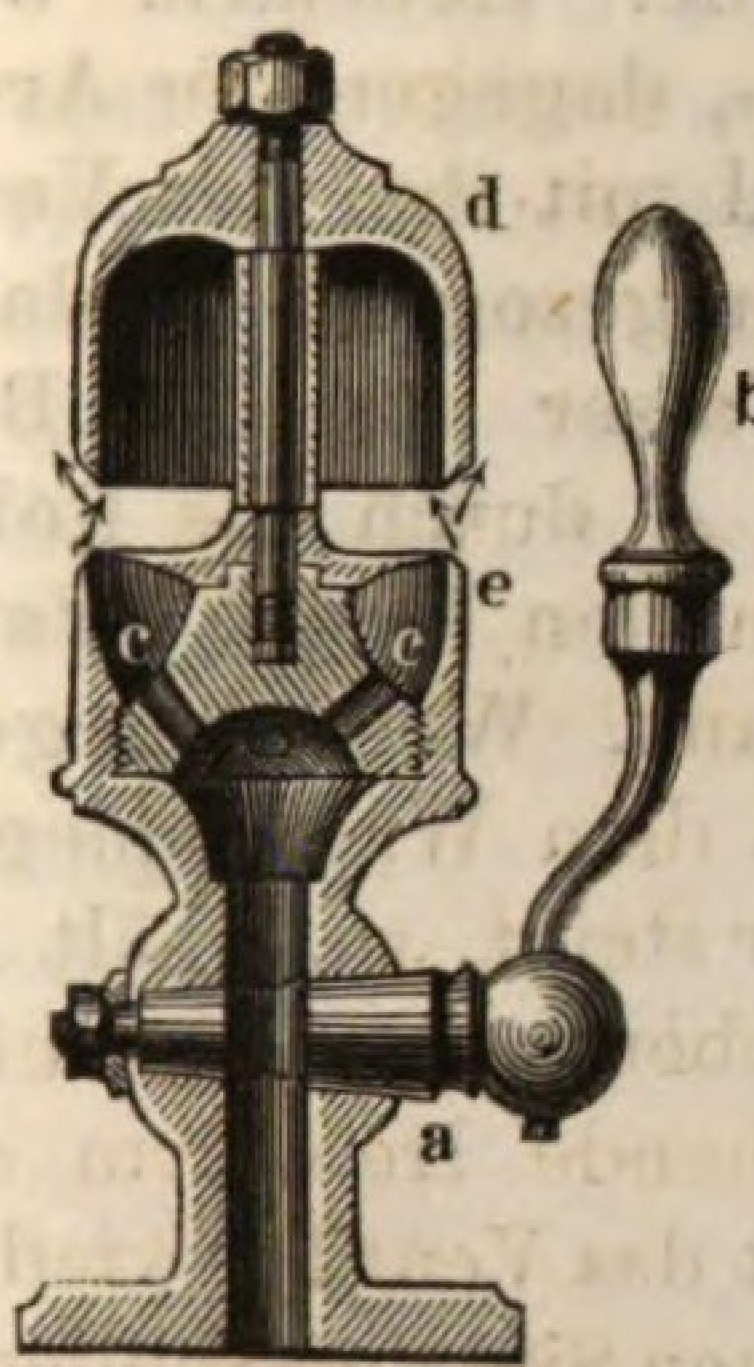
Fig. 430.



einen Ende eines im Innern des Kessels befindlichen zweiarmigen Hebels *ABC* befestigt und durch eine Gegengewichtkugel *C* bei richtigem Wasserstande im Gleichgewicht gehalten. An dem Hebelarme *AB* ist ein Ventil *a* befestigt, welches bei normalem Wasserstande den nach aussen führenden Dampfkanal *b* geschlossen hält. Sinkt jedoch der Wasserstand, so öffnet der ebenfalls sinkende Schwimmer *A* das Ventil, worauf der Dampf durch den Kanal *b* ausströmt und eine auf dem Kanale *b* befindliche Dampfpfeife *cd* zum Tönen bringt. Der gellende Ton der Pfeife dient dann dem Heizer als Mahnung, dass der Wassermangel im Kessel eingetreten ist und die Speisevorrichtung

in Gang gebracht werden muss. Die Einrichtung einer solchen Dampfpfeife ist aus der Fig. 431 leicht zu ersehen. Wenn der Hahn *ba* geöffnet, oder, wie in der vorigen Figur, das im Ausflussrohre enthaltene Ventil geöffnet wird, strömt der Dampf zunächst in den ringförmigen Raum *cc*. Letzterer ist oben durch eine Scheibe beinahe ganz abgedeckt, so dass zwischen dem Rande dieser Scheibe und dem äusseren Mantel *e* der Pfeife nur eine sehr schmale ringförmige Oeffnung bleibt, aus welcher der Dampf in der Richtung der unteren Pfeile entweichen muss. Ueber dieser ringförmigen Spalte befindet sich eine mit einem scharfen Rande versehene Kappe *d*, gegen welche der Dampf anstösst und an welcher er sich seitwärts umbiegen muss. Der Ton entsteht dabei auf dieselbe Weise, wie bei einer gewöhnlichen nur aus einer einseitigen Spalte bestehenden Jagdpfeife.

Fig. 431.

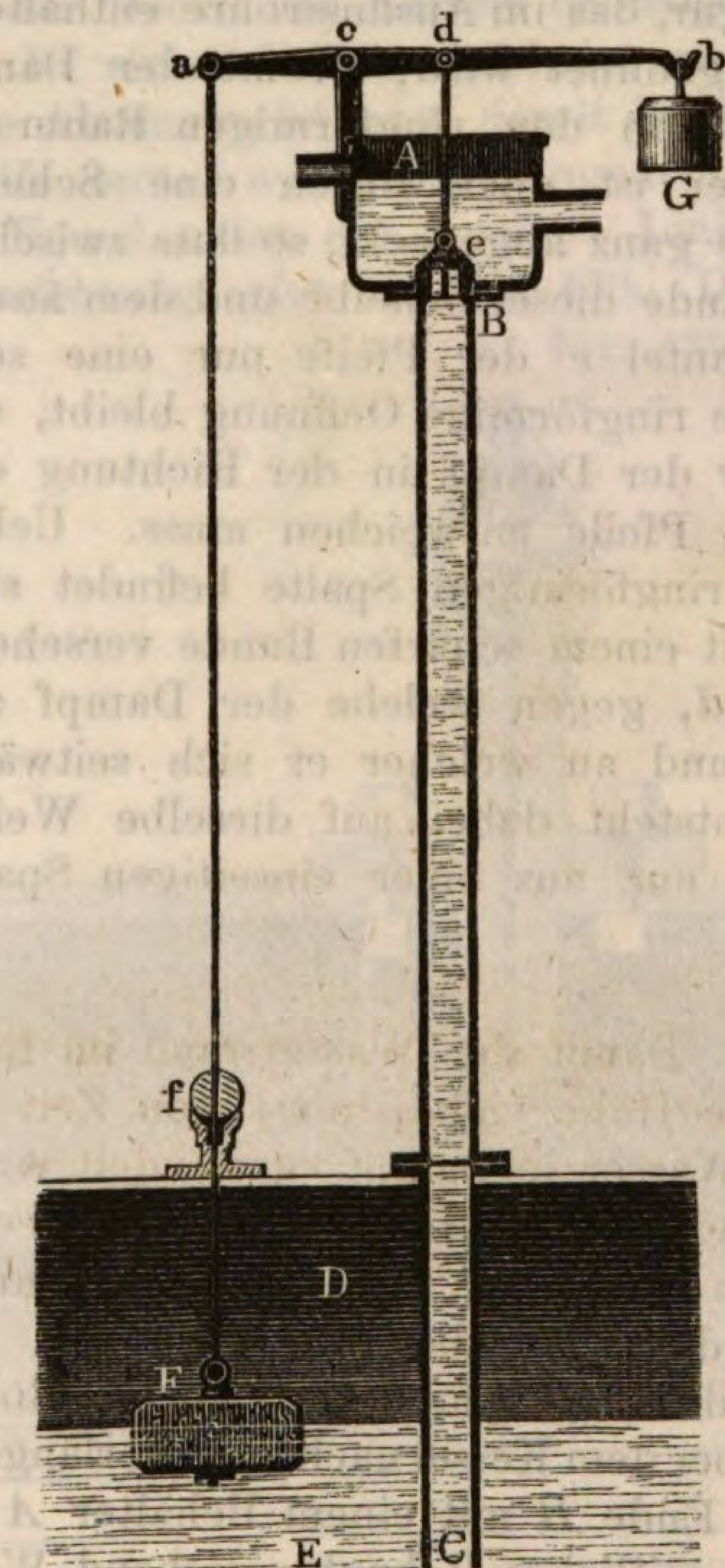


Die Speisevorrichtung. Damit der Wasserstand im Kessel nicht unter seine normale Höhe sinke, muss von Zeit zu Zeit in dem Maasse, als das Wasser in Dampf verwandelt wird, dem Kessel neues Wasser zugeführt werden. Zu diesem Zwecke geht ein Speiserohr von oben durch den Kesselraum hindurch und endigt etwa 6 Zoll über dem Kesselboden. 267

Bei den Kesseln für Niederdruckdampf wird dieses Rohr, Fig. 432 (a. f. S.), 8 bis 10 Fuss über dem Kessel nach oben verlängert und steht an seinem oberen Ende *B* mit einem Behälter *A* in Verbindung, dem durch ein seitliches Rohr hinreichend Wasser, meistens warmes Condensationswasser, zugeleitet wird. An der Ausmündung *B* des Rohres *BC* befindet sich ein Ventil *e*, welches durch eine Stange *ed* bei *d* an den einen Arm *cb* eines zweiarmigen um *c* drehbaren Hebels *acb* aufgehängt ist und die Verbindung des Speiserohres *CB* mit dem Wasserbehälter *A* herstellen oder absperren kann. Der Schwimmer *F* taucht etwas mehr als bis zur Hälfte ins Kesselwasser *E* ein und ist mittelst eines durch eine Stopfbüchse *f* hindurchgehenden Drahtes an dem Ende *a* des Hebels *acb* aufgehängt; durch ein bei *b* angehängtes Gegengewicht *G* wird er, so lange der Wasserstand normal ist und keine Speisung des Kessels stattzufinden braucht,

im Gleichgewicht und daher der Hebel *acb* in horizontaler Stellung erhalten. Wenn nun der Wasserspiegel und damit der Schwimmer *F* sinkt, so wird der Hebelarm *a c* nieder-, dagegen der Arm *cb* und mit ihm das Ventil *e* aufgezogen, so dass das Wasser aus dem Behälter *A* durch das Rohr *BC* in den Kessel gelangen kann. Wenn dagegen *F* mit dem Wasserspiegel wieder steigt, so erhält *G* das Uebergewicht, der niedergehende Hebelarm *cb* drückt das Ventil *e* wieder in seinen Sitz und schliesst die Communication zwischen *A* und *BC* ab. Da eine Wassersäule von circa 32 Fuss im Stande ist, dem Dampfdruck von 1 Atmosphäre das Gleichgewicht zu halten, so übt eine 8 Fuss hohe Wassersäule den Druck von ¼ Atmosphäre aus; dieselbe kann daher auch nur dann zur Speisung des Kessels verwandt werden, wenn der Ueberdruck des Dampfes nur ¼ Atmosphäre beträgt.

Fig. 432.



Für Mittel- und Hochdruckkessel eignet sich die beschriebene Speisevorrichtung nicht, da hier der Druck der Wassersäule nicht vermag, den Gegendruck des hochgespannten Dampfes zu überwinden. Man wendet daher bei Kesseln dieser Art eine besondere Druckpumpe, die Speisepumpe, an, durch welche das Wasser dem Dampfdruck entgegen mit Gewalt in den Kessel hineingepresst wird. In den wenigsten Fällen sind die Speisepumpen selbstwirkend, der Maschinenwärter muss sie dann in Thätigkeit setzen, sobald er an den Wasserstandanzeigern wahrnimmt, dass die Speisung eintreten muss; die-

selben werden entweder von der Dampfmaschine oder von der Hand des Maschinisten bewegt.

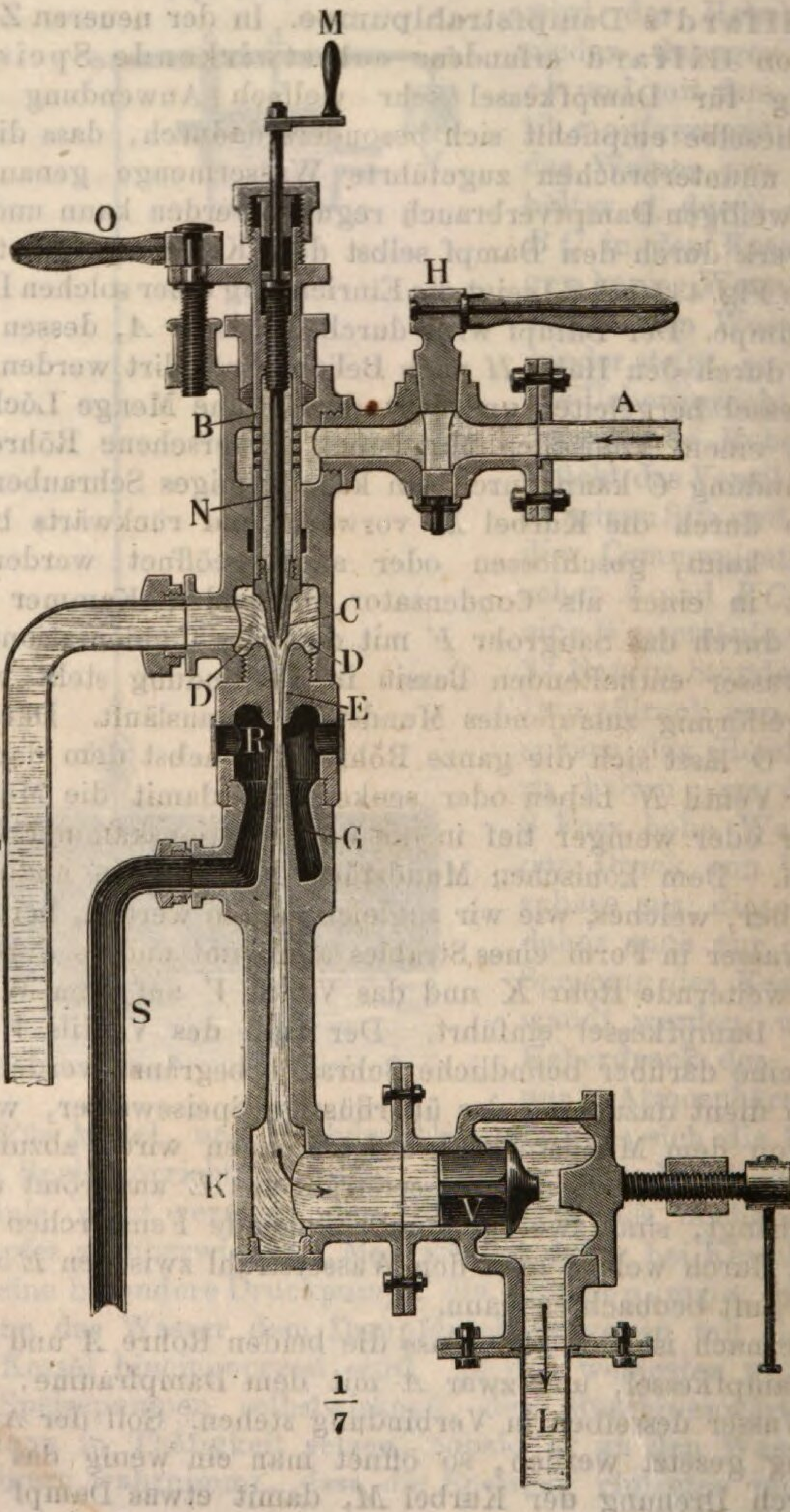
Giffard's Dampfstrahlpumpe. In der neueren Zeit hat 268
eine von Giffard erfundene selbstwirkende Speisevorrichtung für Dampfkessel sehr vielfach Anwendung gefunden; dieselbe empfiehlt sich besonders dadurch, dass die dem Kessel ununterbrochen zugeführte Wassermenge genau nach dem jeweiligen Dampfverbrauch regulirt werden kann und ohne Pumpwerk durch den Dampf selbst dem Kessel zugeführt wird.

Die Fig. 432 (a. f. S.) zeigt die Einrichtung einer solchen Dampfstrahlpumpe. Der Dampf wird durch das Rohr *A*, dessen Querschnitt durch den Hahn *H* nach Belieben regulirt werden kann, vom Kessel hergeleitet und tritt durch eine Menge Löcher in die mit einem konischen Mundstück *C* versehene Röhre *B C*. Die Mündung *C* kann durch ein kegelförmiges Schraubenventil *N*, das durch die Kurbel *M* vorwärts und rückwärts bewegt werden kann, geschlossen oder auch geöffnet werden; sie mündet in einer als Condensator dienenden Kammer *D D*, welche durch das Saugrohr *F* mit dem das Condensations- und Speisewasser enthaltenden Bassin in Verbindung steht und in ein kegelförmig zulaufendes Mundstück *E* ausläuft. Durch die Kurbel *O* lässt sich die ganze Röhre *B C* nebst dem darin liegenden Ventil *N* heben oder senken und damit die Mündung *C* mehr oder weniger tief in die Condensationskammer *D* eintauchen. Dem konischen Mundstück *E* steht ein anderes *G* gegenüber, welches, wie wir sogleich zeigen werden, bei *R* das Speisewasser in Form eines Strahles aufnimmt und es durch das sich erweiternde Rohr *K* und das Ventil *V* auf dem Wege *L* in den Dampfkessel einführt. Der Hub des Ventils *V* kann durch eine darüber befindliche Schraube begränzt werden. Das Rohr *S* dient dazu, um das überflüssige Speisewasser, welches nicht von dem Mundstück *G* aufgenommen wird, abzuführen. An der Stelle *R*, wo der Wasserstrahl aus *E* ausströmt und in *G* eindringt, sind zwei gegenüberstehende Fensterchen angebracht, durch welche man den Wasserstrahl zwischen *E* und *G* in der Luft beobachten kann.

Hiernach ist also klar, dass die beiden Rohre *A* und *L* mit dem Dampfkessel, und zwar *A* mit dem Dampfraume, *L* mit dem Wasser desselben in Verbindung stehen. Soll der Apparat in Gang gesetzt werden, so öffnet man ein wenig das Ventil *N* durch Drehung der Kurbel *M*, damit etwas Dampf bei *C*

in die Kammer *D* ausströme. Der mit grosser Geschwindigkeit sich bewegende Dampfstrahl reisst die umgebende Luft mit sich

Fig. 433.



fort, erzeugt dadurch in der Kammer *D* einen luftverdünnten Raum und bewirkt, dass der äussere überwiegende Luftdruck das Speisewasser durch das Saugrohr *F* in die Kammer *D* hineinpresst. Sobald dieses Wasser die Mündung *E* erreicht hat, öffnet man das Ventil *N* vollständig, so dass nun der Dampf aus *C* vollauf ausströmt. Der ausströmende Dampf aber wird dann in der Kammer *D* sofort condensirt, überträgt seine lebendige Kraft auf das Condensationswasser und es bildet sich ein Wasserstrahl, der durch die Mündung *E* in den freien Raum *R* und in das Druckrohr *GK* einströmt. Da der Dampf aus dem Kessel fortwährend durch *A* in den Apparat nachströmt und dabei ebenso ununterbrochen bei *D* condensirt wird, andererseits das beständige seitliche Vorbeiströmen des Strahles an der Mündung des Speiserohrs *F* ein ununterbrochenes Aufsaugen des Condensationswassers zur Folge hat, so muss ein continuirlicher aus dem Condensationswasser und dem Speisewasser zusammengesetzter Wasserstrahl aus der Mündung *E* in die gegenüberstehende Mündung *G* des Druckrohrs *K* einströmen. Unter dem Drucke dieses Wasserstrahls öffnet sich das Ventil *V* und der Strahl selbst dringt durch das Rohr *L* in den Kessel. Das Zuströmen des Wassers kann durch Verschiebung der Röhre *BC* mittelst Handhabung der Kurbel *O* beliebig regulirt werden. Wenn die Dampf- und die Wasserzuströmung das richtige Verhältniss haben, so bildet sich bei *R* ein klarer, durchsichtiger, von Dampf nicht umwölkter Wasserstrahl, und es tritt durch das Rohr *S* weder Dampf noch Wasser aus. Ist der Apparat einmal in richtigem Gange, so erfolgt die Speisung des Kessels ununterbrochen durch den Apparat von selbst; soll die Speisung unterbrochen werden, so schliesst man einfach den Dampfhahn *H* oder das Ventil *N*.

Die Giffard'sche Dampfstrahlpumpe empfiehlt sich nicht bloss durch ihre selbstthätige Wirkung, sondern auch dadurch, dass sie in ihrer Einrichtung sehr einfach ist und keine Theile, wie Kolben, Ventile u. s. w. enthält, welche während ihrer Thätigkeit in Bewegung sein müssten. Einmal gehörig regulirt, arbeitet sie eine lange Zeit hindurch durchaus regelmässig und bedarf nur sehr selten einer Beaufsichtigung oder einer Reparatur.

Der Indicator von Watt. Da der Druck des Dampfes 269
im Cylinder der Dampfmaschine fast ohne Ausnahme kleiner ist, als der Druck desselben im Kessel, so kann man auch nicht aus der durch das Manometer angezeigten Spannung ohne Wei-

teres auf die in §. 258 und 259 angegebene Weise den Effect der Maschine oder die in der Secunde von derselben geleistete Arbeit berechnen. Es ist daher in vielen Fällen wünschenswerth zu wissen, wie gross in jedem Momente eines Kolbenhubes die Dampfspannung im Cylinder ist, um daraus zuverlässige Schlüsse über den Gang des Kolbens und die Leistungsfähigkeit der Maschine machen zu können. Das Instrument, welches zu diesem Zwecke bereits von Watt erfunden worden ist, wird **Indicator** genannt.

Fig. 434.

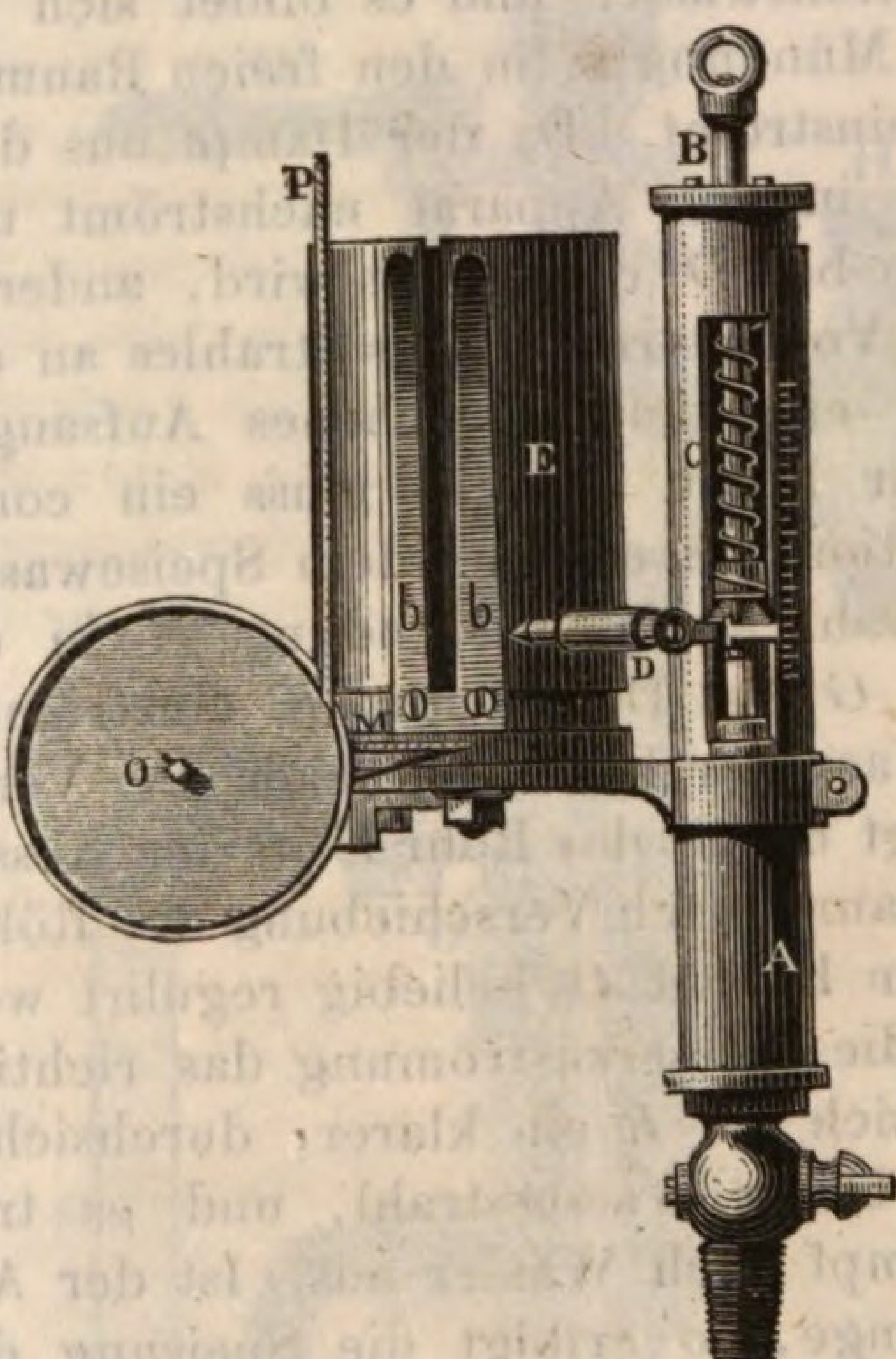
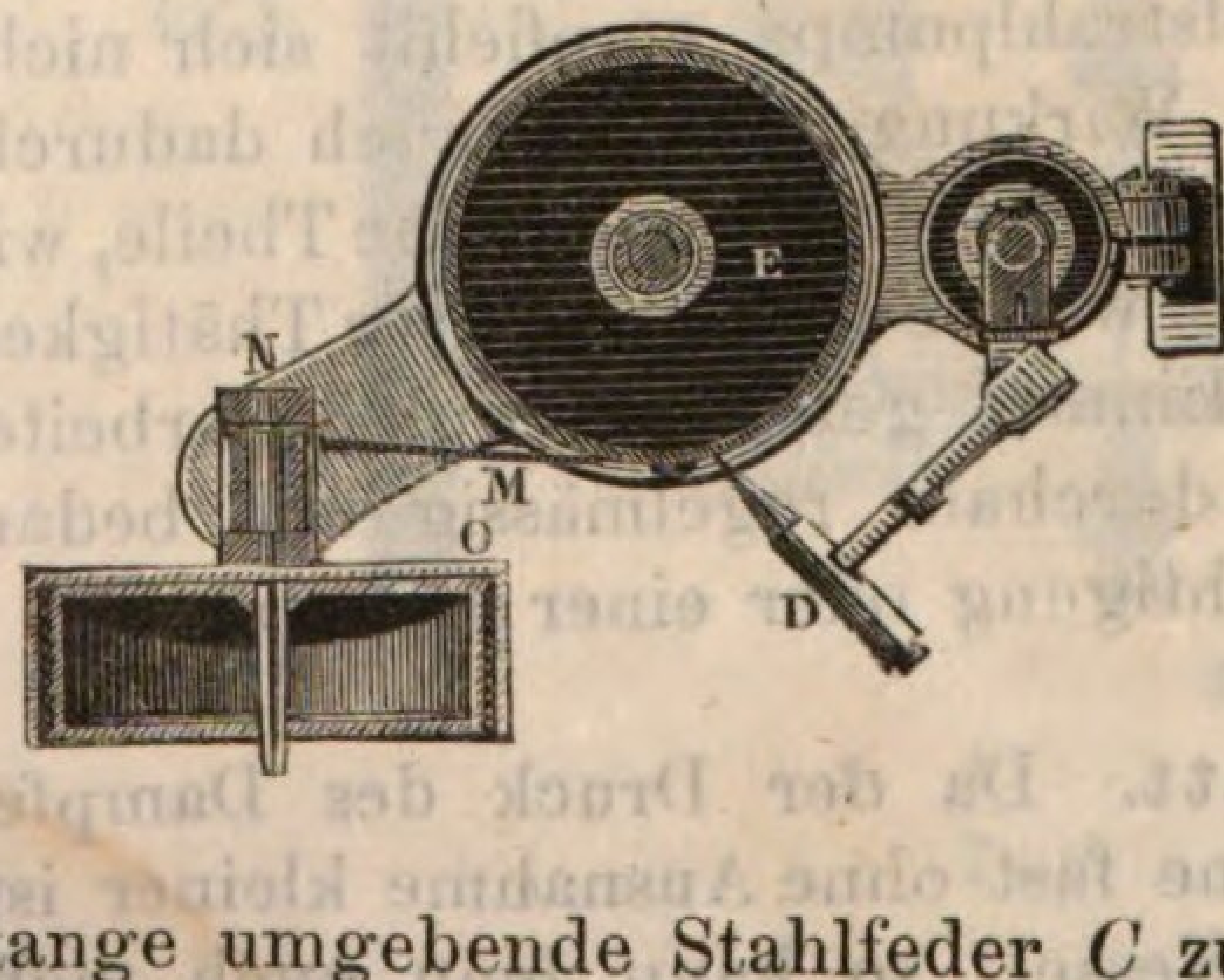


Fig. 435.

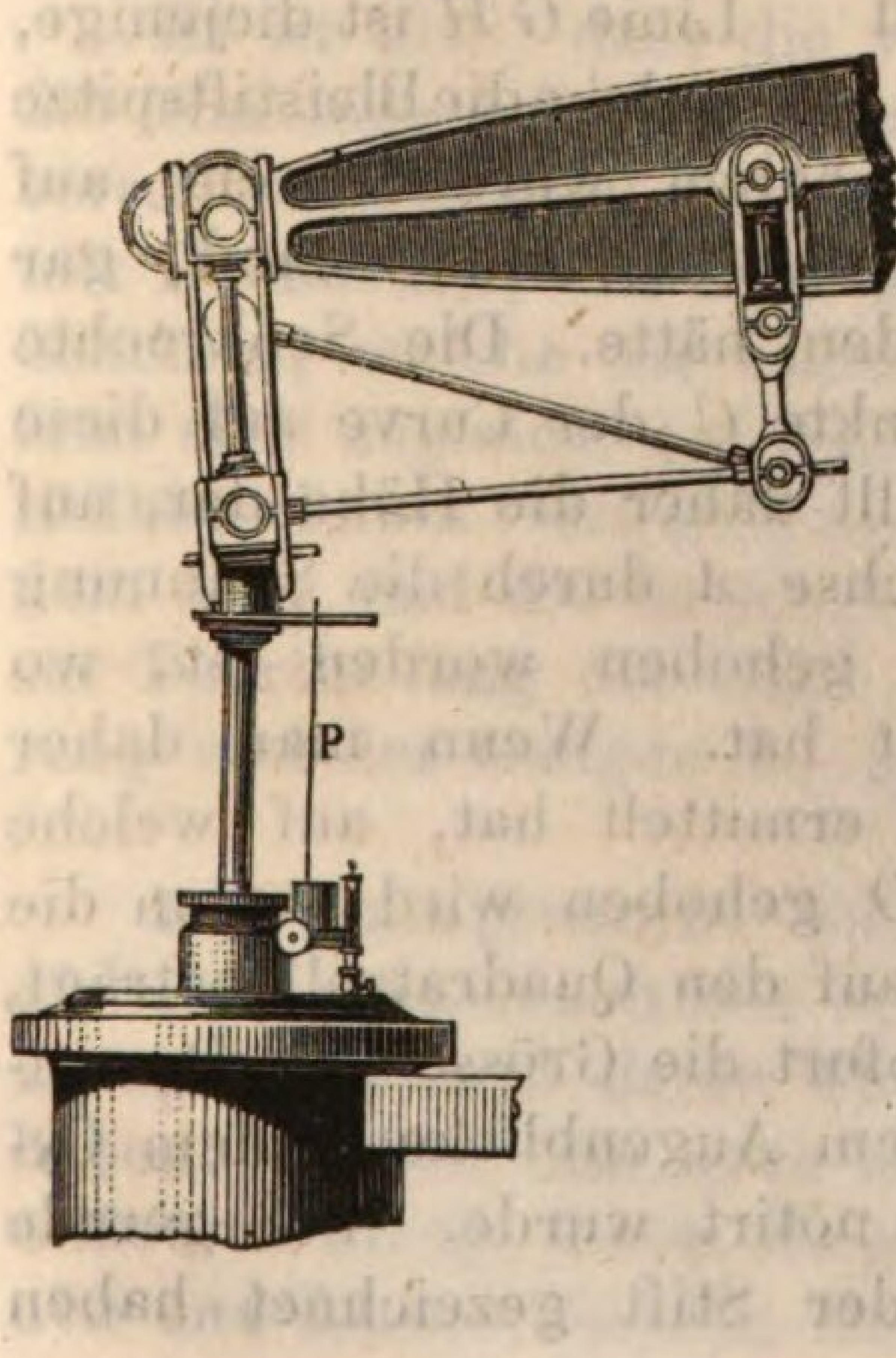


Dasselbe besteht aus einer Büchse *A*, Fig. 434 und 435, in welcher sich ein Kolben befindet, dessen Stange *B* durch den oberen Cylinderdeckel hindurchgeht und mit einem Knopf versehen ist. Vermittelst einer den Fuss der Büchse *A* bildenden Schraube kann dieselbe auf eine entsprechende Oeffnung im Deckel des Cylinders der Dampfmaschine aufgeschraubt werden; ist dieses geschehen und der Hahn der Büchse *A* geöffnet, so wirkt der Dampf des Maschinencylinders auf den Kolben in *A* und übt je nach dem Grade seiner Spannung einen grösseren oder kleineren Druck auf denselben aus. In Folge hiervon wird der Kolben in die Höhe bewegt und eine die Kolbenstange umgebende Stahlfeder *C* zusammengepresst; nimmt der Dampfdruck ab, so dehnt die Feder sich wieder aus und treibt

den Kolben nach unten. An der Kolbenstange springt unten ein Zeiger *D* aus der Büchse *A* hervor, der bei der Bewegung des Kolbens an einer auf der Wand der Büchse angebrachten Scala vorbeistreift und die jedesmalige Dampfspannung zu erkennen giebt.

Da jedoch die Dauer eines Kolbenschubes in der Regel sehr klein ist, und andererseits während dieser Zeit die Dampfspannung sich sehr vielfach ändert, so ist die genaue Beobachtung des Zeigers an der Scala der Büchse sehr schwierig, ja in den meisten Fällen geradezu unmöglich. Man verbindet daher mit den eben beschriebenen Theilen noch eine Vorrichtung, wodurch die Dampfmaschine das Spiel des Indicators auf einen Streifen Papier aufzeichnet und die Scala der Büchse *A* überflüssig wird. Zu diesem Zwecke ersetzt man den Zeiger durch einen Bleistifthalter *D*, dessen Spitze beständig gegen den Umfang eines zweiten Cylinders *E* federt. Vor jedem Versuche bespannt man den Cylinder *E* mit einem Streifen Papier, der durch zwei Druckfedern *b*, *b* gegen den Umfang des Cylinders festgedrückt wird. Während nun die Maschine in Thätigkeit ist, ertheilt sie dem Cylinder *E* eine Umdrehung um seine Achse und bringt so den Bleistift *D* nach einander mit verschiedenen Punkten des Papierstreifens in Berührung. Um den unteren Theil des Cylinders *E* ist nämlich eine Schnur geschlungen, deren freies Ende sich bei *M* abwickelt und eine kleine Rolle *N* umschlingt, welche mit der grösseren Trommel *O* auf einer und derselben wagerechten Achse sitzt. Von der Trommel *O* geht eine zweite Schnur *P* vertical in die Höhe und ist an irgend einem Theile der Kolbenstange befestigt, Fig. 436. Wenn nun der Kolben der Dampfmaschine in die Höhe geht, so zieht er die Schnur *P* an und wickelt dieselbe von der Trommel *O* ab; diese nebst der Rolle *N* wird dadurch rund gedreht, und eben hierdurch dem Cylinder *E* eine Umdrehung um seine Achse ertheilt. Wenn der Kolben abwärts geht, so dreht

Fig. 436.

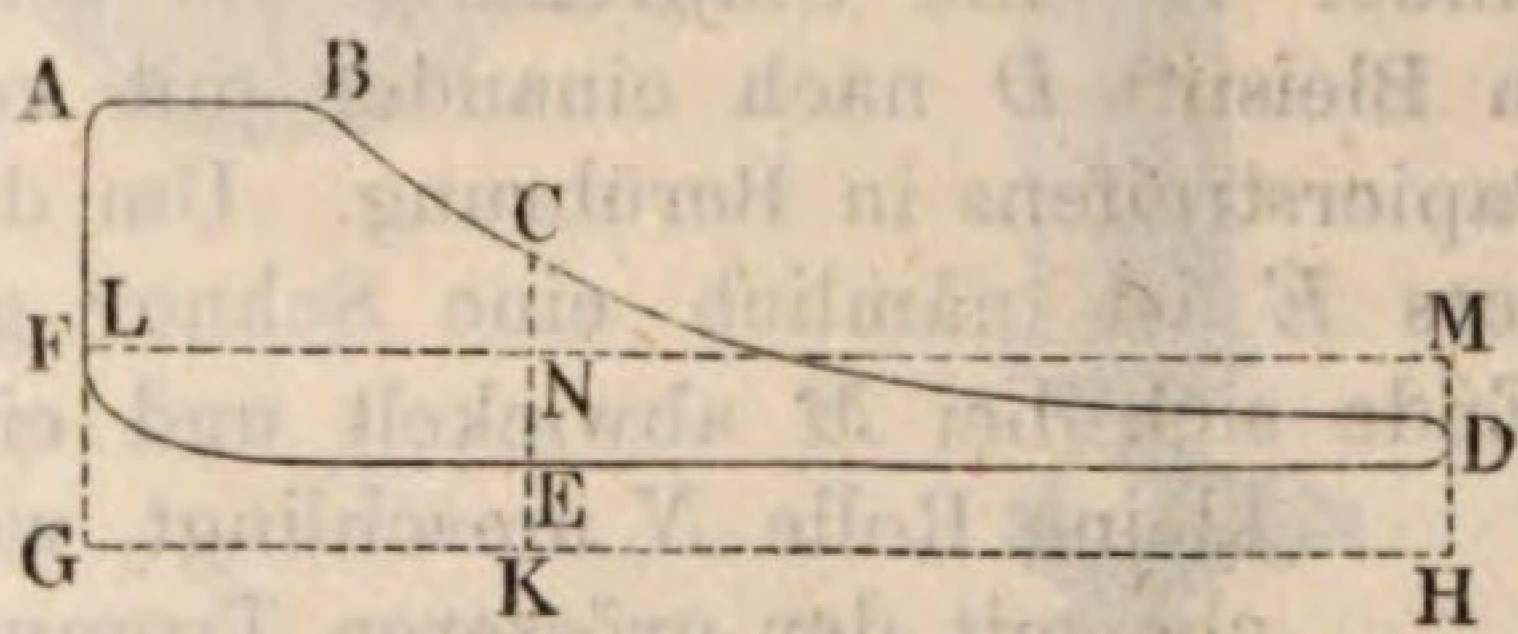


sich der Cylinder *E* in der entgegengesetzten Richtung und alle Theile nehmen durch die Wirkung einer im Innern des Cylinders *E* enthaltenen Feder ihre alte Lage wieder ein.

Während sich der Cylinder *E* dreht und nach einander verschiedene Stellen des Papierstreifens unter die Spitze des Bleistifts *D* bringt, bewegt sich diese je nach den Aenderungen, die in der Spannung des Dampfes eintreten, mehr oder weniger in der Richtung der Längenachse der Büchse *A*. In Folge dieser zweifachen Bewegung entsteht daher auf dem Papierstreifen eine krumme Linie, deren Gestalt von der Art dieser beiden Bewegungen abhängt. Ist nun eine dieser beiden Bewegungen, nämlich die Umdrehung des Cylinders *E*, bekannt, so lässt sich aus der Gestalt der erzeugten krummen Linie die andere Bewegung, nämlich die des Bleistifts *D* und des in der Büchse *A* enthaltenen Kolbens, und hieraus für jeden Moment des Kolbenhubes die Dampfspannung im Cylinder erkennen.

Die Fig. 437 zeigt eine durch den Indicator gebildete Curve. Der Theil *A B C D* ist während der Zeit entstanden, wo der Dampf den Kolben im Treibcylinder abwärts bewegte; der Theil *D E F* dagegen ist während des darauf folgenden Kolbenhubes gezeichnet worden. Die Linie *G H* ist diejenige, welche die Bleistiftspitze

Fig. 437.



auf dem Papierstreifen gezeichnet haben würde, wenn auf der Seite des Treibkolbens, wo sich der Indicator befand, gar kein Druck im Cylinder stattgefunden hätte. Die Senkrechte *C K*, welche von irgend einem Punkte *C* der Curve auf diese gerade Linie *G H* gefällt wird, stellt daher die Höhe dar, auf welche der kleine Kolben in der Büchse *A* durch die Spannung des Dampfes in dem Augenblicke gehoben worden ist, wo der Stift den Punkt *C* gezeichnet hat. Wenn man daher vorher durch besondere Versuche ermittelt hat, auf welche Höhe der Kolben oder der Stift *D* gehoben wird, wenn die Dampfspannung 1, 2, 3 . . . Pfund auf den Quadratzoll beträgt, so kann man aus der Höhe *C K* sofort die Grösse der Dampfspannung bestimmen, welche in dem Augenblicke in dem Cylinder herrschte, wo der Punkt *C* notirt wurde. Die gerade Linie *L M* ist diejenige, welche der Stift gezeichnet haben

würde, wenn die Dampfspannung genau 1 Atmosphäre betragen hätte, also diejenige Linie, die entsteht, wenn man den Cylinder *E* einfach um seine Achse dreht, ohne dass die Feder in der Büchse *A* durch den Ueberdruck des Dampfes angespannt wird. Der Theil *AB* der Curve entspricht der Zeit, in welcher der Dampf mit gleich bleibendem vollem Drucke gewirkt hat; man erkennt daher aus der Curve *ABCD* sofort, dass der Dampf nicht während des ganzen Niederganges des Kolbens mit vollem Druck gearbeitet hat; da die Spannung des Dampfes, welche der Strecke *BCD* entspricht, fortwährend abgenommen hat, so hat derselbe auf dieser Strecke durch Expansion gewirkt und zwar ist dabei seine Spannung bis unter den Druck der atmosphärischen Luft, welcher durch die Linie *LM* angezeigt wird, herabgesunken. Der andere Theil *DEF* der Curve, welcher einer Dampfspannung entspricht, die kleiner ist als der Druck der atmosphärischen Luft, ist gezeichnet worden während der Zeit, wo der obere, den Indicator enthaltende Theil des Cylinders mit dem Condensator in Verbindung war. Während dieser Zeit ist der Dampfdruck auf der dem Theile *DE* entsprechenden Strecke constant und zwar kleiner, als eine halbe Atmosphäre, geblieben, gegen das Ende des Kolbenhubes aber, der Strecke *EF* entsprechend, ist der Druck im Cylinder wieder gestiegen, weil man bekanntlich die Verbindung des Cylinders mit dem Condensator etwas vor vollendetem Kolbenhube unterbricht.

Es ist klar, dass die von dem Indicator beschriebene und die einzelnen Grade des Dampfdruckes angebende Curve sehr verschieden ausfällt, je nachdem die Maschine mit Nieder- oder mit Hochdruck, mit oder ohne Expansion wirkt. Aus der Ausdehnung, welche die Curve auf dem Papierstreifen einnimmt, lässt sich zugleich auf die einfachste Weise die während eines Kolbenschubes von der Maschine geleistete Arbeit ableiten; ausserdem aber sind die Indicatorcurven ein vorzügliches Hülfsmittel zur Beurtheilung der Güte und der Zweckmässigkeit der Steuerung und des Ganges der Maschine überhaupt.

Das Dampfschiff. Nachdem wir in dem Vorangegangenen 270
die verschiedenen Arten sowohl der Dampfmaschinen, als der Dampfkessel und deren Theile im Allgemeinen kennen gelernt haben, bleiben uns noch zwei besondere Maschinen näher zu erläutern übrig, deren Zweck in der Fortbewegung von Personen und Lasten besteht, und deren Construction manche Eigen-

thümlichkeiten darbietet, wodurch sich diese Maschinen von den übrigen Dampfmaschinen unterscheiden; wir meinen die Schiffsmaschinen und die Locomotiven.

Die erste Idee einer Dampfschifffahrt rührt von Papin her; derselbe hat nicht bloss in einem Aufsatze, den er im Jahre 1690 erscheinen liess, Vorschläge gemacht, wie man die geradlinige Bewegung eines Kolbens in eine rotirende verwandeln und die Drehung einer Welle zum Umtriebe von Schaufelrädern verwenden könne, sondern er hat auch im Jahre 1707 den Bau eines kleinen Dampfbootes beendigt, mit welchem er ohne Unfall die Fulda hinunter fuhr. Leider wurde ihm sein Fahrzeug von Schiffern, mit denen er in Conflict gerieth, zertrümmert.

Im Jahre 1775 baute Perrier zu Paris ein Dampfschiff, welches jedoch nur zu Versuchen benutzt wurde und sich bei den kleinen Dimensionen der Maschine zu schwach erwies, um das kleine Boot gegen die schwache Strömung der Seine zu bewegen.

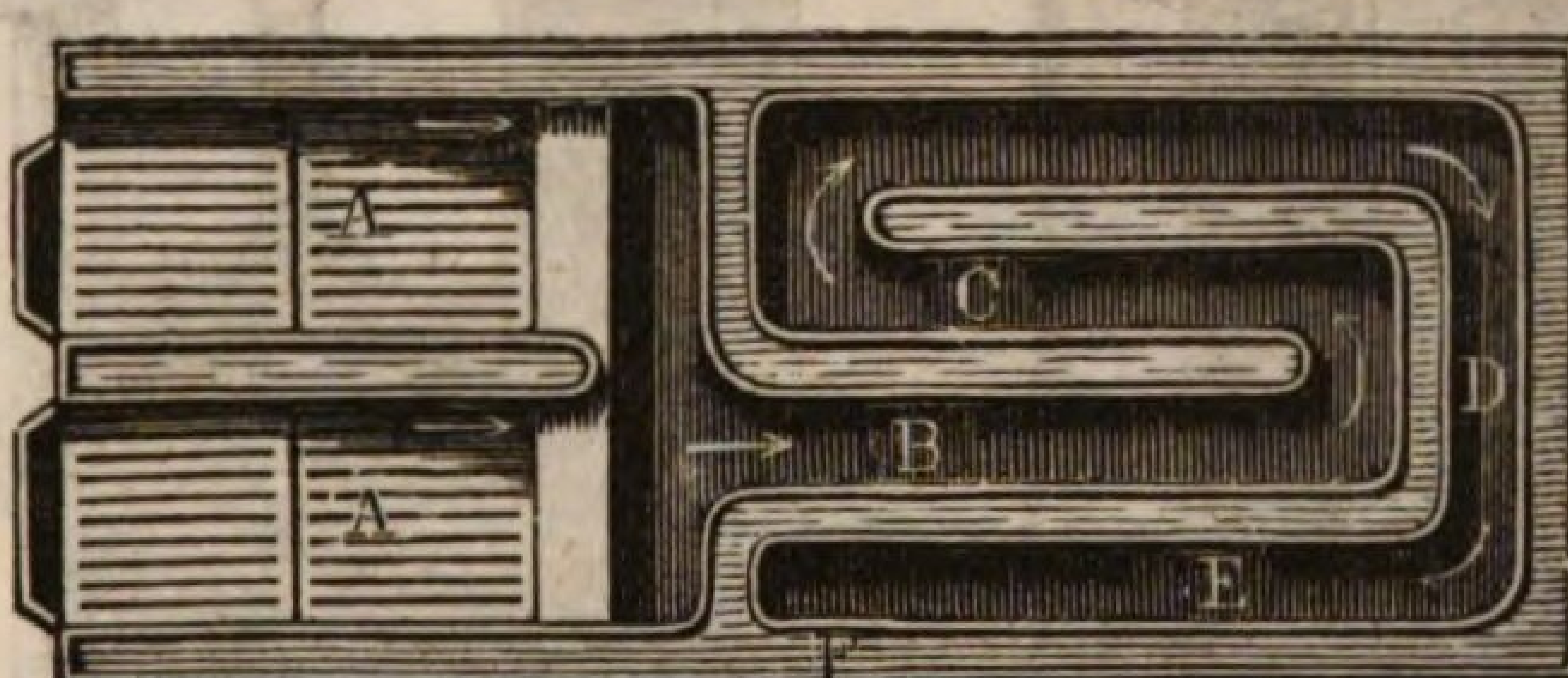
Jouffroy, der bereits vor Perrier sich mit dem Gedanken der Dampfschifffahrt lebhaft beschäftigt hatte, nahm nach den erfolglosen Versuchen Perrier's seine Ideen wieder auf, und baute nach manchen vorgängigen kleineren Versuchen im Jahre 1783 ein Dampfschiff, welches wirklich eine Zeit lang auf der Saone auf- und abfuhr, dann aber, da Jouffroy keine Mittel besass, um seine Erfindung zu vervollkommnen und keine Unterstützung fand, dieselbe auszubeuten, allmälig in Vergessenheit gerieth.

Erst im Jahre 1807 gelang es dem Amerikaner Robert Fulton, nachdem er bereits im Jahre 1803 Probefahrten auf der Seine angestellt hatte, die Dampfschifffahrt wirklich ins Leben zu rufen. In Verbindung mit Livingston richtete er mit dem Dampfschiffe Clermont einen regelmässigen Dienst zwischen New-York und Albany ein, der bald einen solchen Aufschwung nahm, dass schon im Jahre 1811 vier neue grosse Boote gebaut wurden, um auch auf anderen Flüssen regelmässige Fahrten einrichten zu können. Ein Jahr später, 1812, wurde in England das erste Dampfschiff gebaut; in Frankreich datirt die Dampfschifffahrt von 1816, auf dem Bodensee von 1822, auf dem Rhein von 1825. Mit dem Jahre 1838 endlich begann die transatlantische Dampfschifffahrt, wo der von Brunel erbaute Great-Western die erste Fahrt von England nach Amerika machte.

Was zunächst den Kessel der Dampfschiffe angeht, so bietet derselbe manche Eigenthümlichkeiten dar. Da die Anwendung von Mauerwerk nicht gestattet ist, so müssen der Feuer-

heerd und die Züge von Metall gebaut werden; der Schwerpunkt von Kessel und Ofen muss möglichst tief im Schiffe liegen, und bei den kleinen Dimensionen, die beide erhalten müssen, um in dem engen Schiffsraum ein Unterkommen zu finden, ist eine kräftige und rasche Dampferzeugung neben Gefahrlosigkeit dringend erforderlich. Alles dieses hat zur nothwendigen Folge, dass der Feuerheerd innerhalb des Kessels zu liegen komme und die Feuerluft mit möglichst vielen Punkten der Kesselwand in Berührung gebracht werde. Bei Niederdruckdampf, wie er gewöhnlich zum Betriebe der Schiffsmaschine verwendet wird, besteht der Kessel aus lothrechten Kammern, Fig. 438, zwischen denen die Feuerluft vom Heerde *A A* aus

Fig. 438.



einen langen Zug *A*, *B*, *C*, *D*, *E* zurückzulegen hat, bevor sie zur Esse gelangt.

Die zum Umtreiben der Räderwelle dienende Dampfmaschine ist fast ohne Ausnahme eine Condensationsmaschine (§. 246), da das zur Condensation der Dämpfe erforderliche kalte Wasser in Ueberfluss vorhanden ist. In einzelnen Fällen, wo man höher gespannte Dämpfe anwendet, macht man zugleich von der Expansion derselben Gebrauch. Da die Anwendung eines grösseren Schwungrades unthunlich ist, so stellt man zwei gleich starke Maschinen entweder einander gegenüber oder neben einander auf, und lässt dieselben so auf die gemeinschaftliche Kurbelwelle wirken, dass die beiden Kurbeln unter einem rechten Winkel zu einander stehen. Befindet sich dann die eine Kurbel in einem der todten Punkte, so ist die andere in der Nähe ihrer günstigsten Stellung, des Kraftpunktes.

Die Hauptheile einer solchen gekuppelten oder Zwillingsmaschine, wie sie bei den Dampfschiffen vorkommen, zeigen die Figuren 439 und 440 (a. f. S.). *A* ist der Dampfcylinder, *B B* der eine der beiden Balanciers, die zu beiden Seiten des Cylinders unten gelagert sind, um den Schwerpunkt der Maschine so tief

als möglich zu verlegen. Die Geradführung der Kolbenstange wird durch die Lenkstangen und Gegenlenker gg und hh er-

Fig. 439.

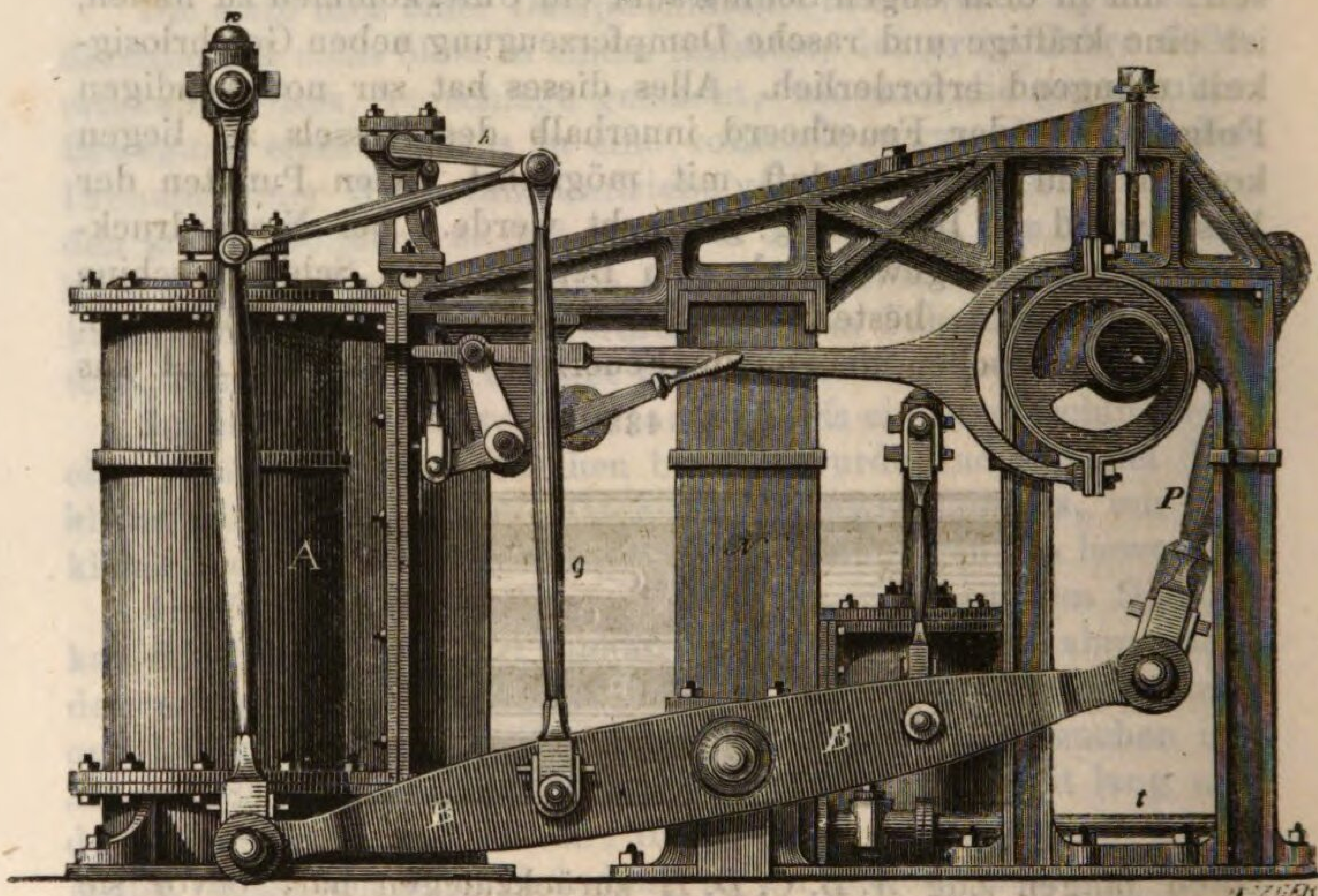
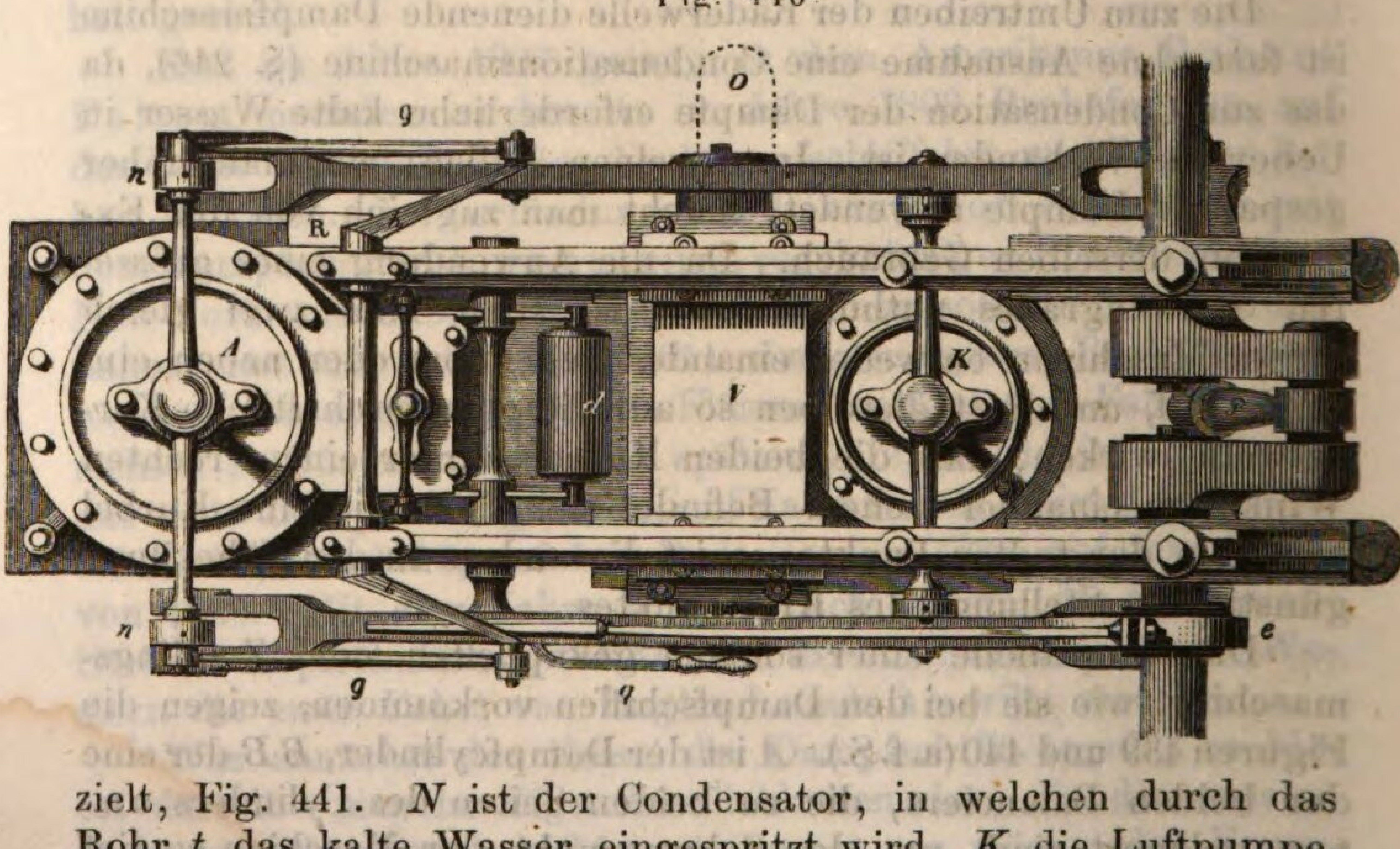


Fig. 440



zielt, Fig. 441. *N* ist der Condensator, in welchen durch das Rohr *t* das kalte Wasser eingespritzt wird, *K* die Luftpumpe,

deren Kolbenstange ihre Bewegung vom Balancier aus erhält. Die Treibstange *P*, Fig. 442, geht von der Verbindungstange

Fig. 441.

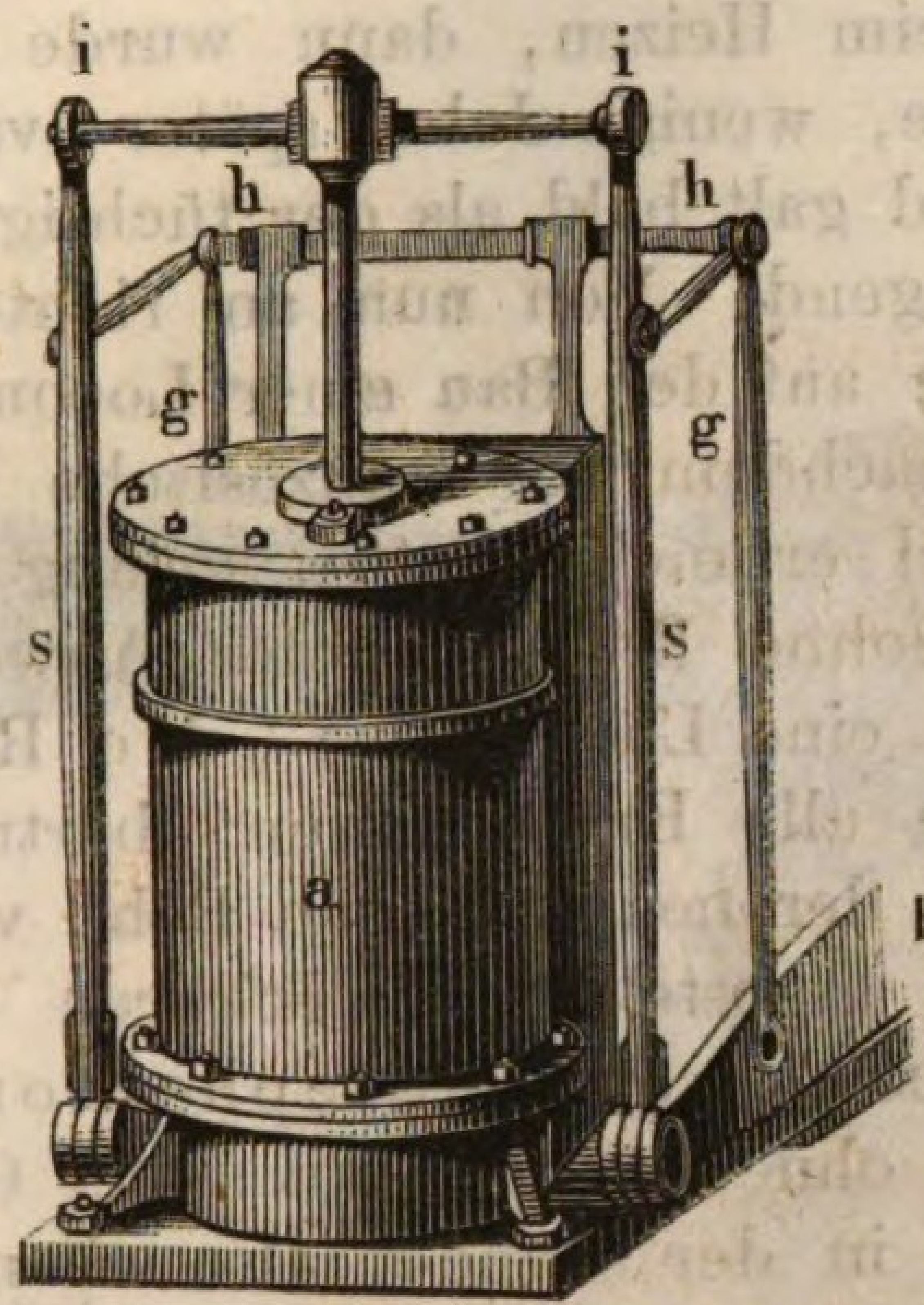
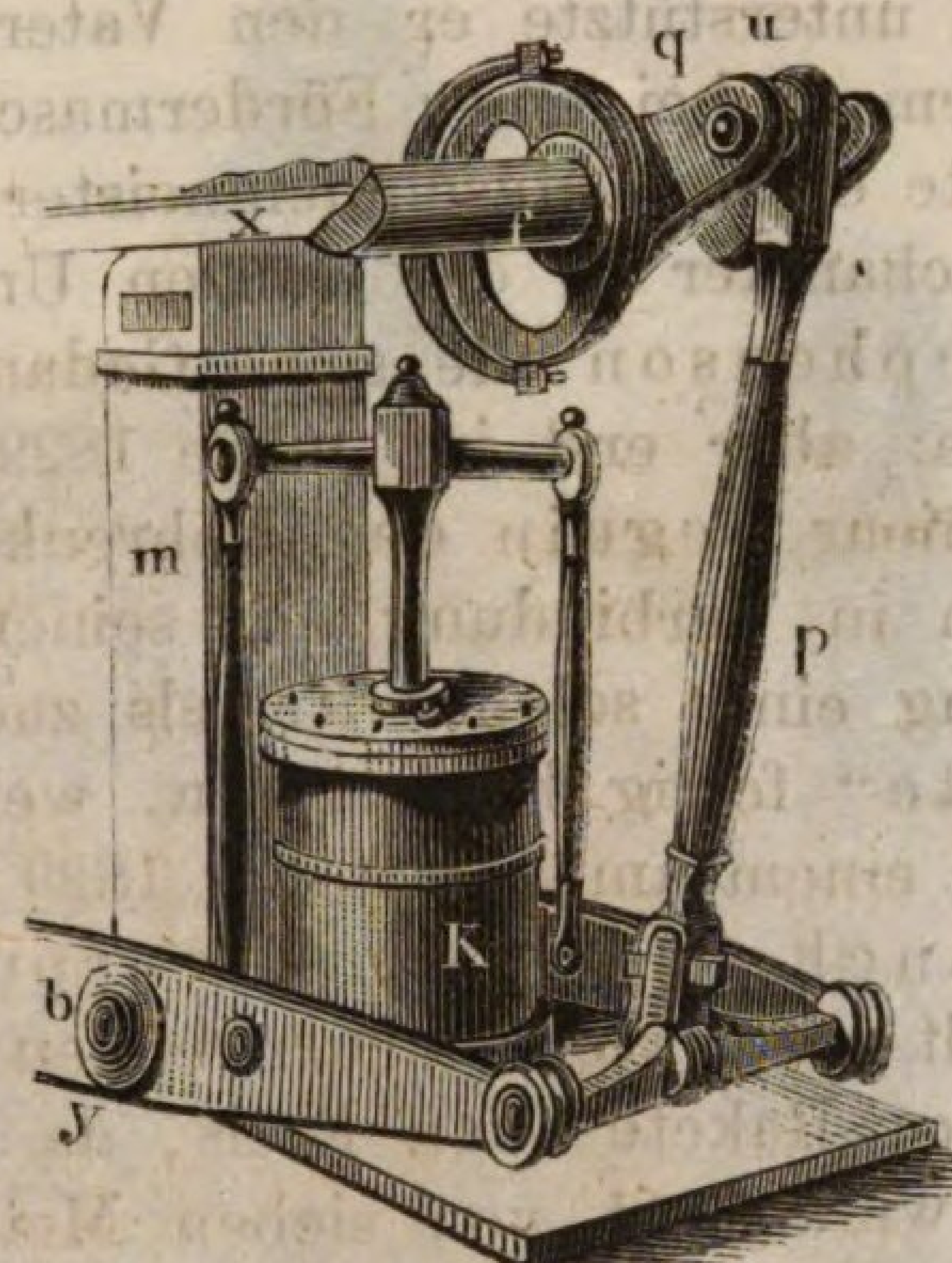


Fig. 442.



beider Balanciers aus nach oben und wirkt auf die Kurbel *q* der Radwelle *f*; auf derselben Welle sitzt das Excentrik *X* zur Bewegung des mit einem Gegengewichte *d* versehenen Schiebers. Um die Maschine langsam von der Hand steuern zu können, steht der Schieber noch mit einem besonderen Hebel *q* in Verbindung; die Steuerung hat die Einrichtung der Fig. 379, wodurch es möglich ist, die Maschine vorwärts und rückwärts arbeiten zu lassen.

Die Locomotive. Die Versuche, welche bereits um das 271
Jahr 1769 gemacht wurden, um vermittelst der älteren Dampfmaschine einen Wagen auf der Landstrasse in Bewegung zu setzen, blieben ohne jeden Erfolg, weil einestheils gewöhnliche Strassen aus vielen Gründen sich zur Befahrung mit Dampfwagen nicht eignen, anderentheils aber die damaligen Kessel nicht im Stande waren, so viel Dampf zu liefern, als eine mit mässiger Geschwindigkeit sich bewegende Maschine verbrauchen muss. Die Erfindung der Locomotive gehört ganz der Neuzeit an; wie J. Watt als der Vater der Dampfmaschine im Allgemeinen zu betrachten ist, so gilt das Gleiche in Bezug auf die Locomotive von George Stephenson. Derselbe war am 9. Juni 1781 zu Wylam, einem kleinen in der Nähe von New-

castle am Tyne gelegenen Dorfe, geboren; sein Vater war Heizer bei einer Pumpmaschine und lebte in so dürftigen Verhältnissen, dass sein Sohn George durch Viehhüten für den Lebensunterhalt der zahlreichen Familie mitsorgen musste. Später unterstützte er den Vater beim Heizen, dann wurde er Bremser bei einer Fördermaschine, wenige Jahre später avancirte er zum Maschinenmeister und galt bald als der tüchtigste Mechaniker in der ganzen Umgegend. Von nun an richtete Stephenson alle seine Gedanken auf den Bau einer Locomotive; aber erst im Jahre 1829, nachdem der französische Ingenieur Seguin den Röhrenkessel erfunden hatte, gelang es ihm in Verbindung mit seinem Sohne Robert, unter Anwendung eines solchen Kessels zuerst eine Locomotive „die Rakete“ fertig herzustellen, welche alle Erwartungen übertraf. Bei einem am 6. October 1829 auf der neu gebauten Bahn von Manchester nach Liverpool angestellten Preisfahren erhielt unter vier concurrirenden Locomotiven die Stephenson'sche „Rakete“ den Preis, da sie ohne Ladung mit einer Geschwindigkeit von sieben Meilen in der Stunde, also ebenso schnell als unsere heutigen Schnellzüge zu fahren vermochte.

272 Die Hauptbestandtheile einer Locomotive sind aus den Figuren 442 und 443 (a. S. 590) zu erkennen. Dieselben bestehen aus dem von starkem Eisenblech zusammengesetzten viereckigen Gestelle, welches die Lager enthält, in denen das Gestell selbst und die übrigen Maschinentheile auf den Räderachsen aufruhen, sodann aus dem Kessel und aus der eigentlichen Dampfmaschine. Die Anzahl der Räderpaare ist verschieden; die vorliegende Maschine hat deren drei, von denen das mittlere die Triebräder *E* bilden. die von der Dampfkraft in Umdrehung gesetzt werden, während die beiden äusseren Paare nur zur Unterstützung der Locomotive dienen.

An dem Vordertheile liegt auf jeder Seite ein Cylinder *A*, Fig. 443, in welchem sich der Kolben mit grosser Geschwindigkeit hin- und herbewegen muss. Die Kolbenstangen *B* laufen mit ihren Gleitbacken *a*, *a* in einer Coulisse *m* und wirken vermittelst des Bläuels *C* an den auf dem Triebrade *E* befestigten Kurbelzapfen. Diese Zapfen sitzen in den verstärkten Naben der Triebräder und stehen, wie bei der Schiffsmaschine, gegen einander im rechten Winkel.

Die Steuerung geschieht durch zwei Kreisexcentriks F, F_1 (Fig. 444), welche auf der Treibachse sitzen und behufs der

Umsteuerung der Maschine eine entgegengesetzte Stellung zu einander haben. Von diesen Excentriks gehen die mit gabel- oder hufeisenförmigen Klauen C, C_1 versehenen Schubstangen

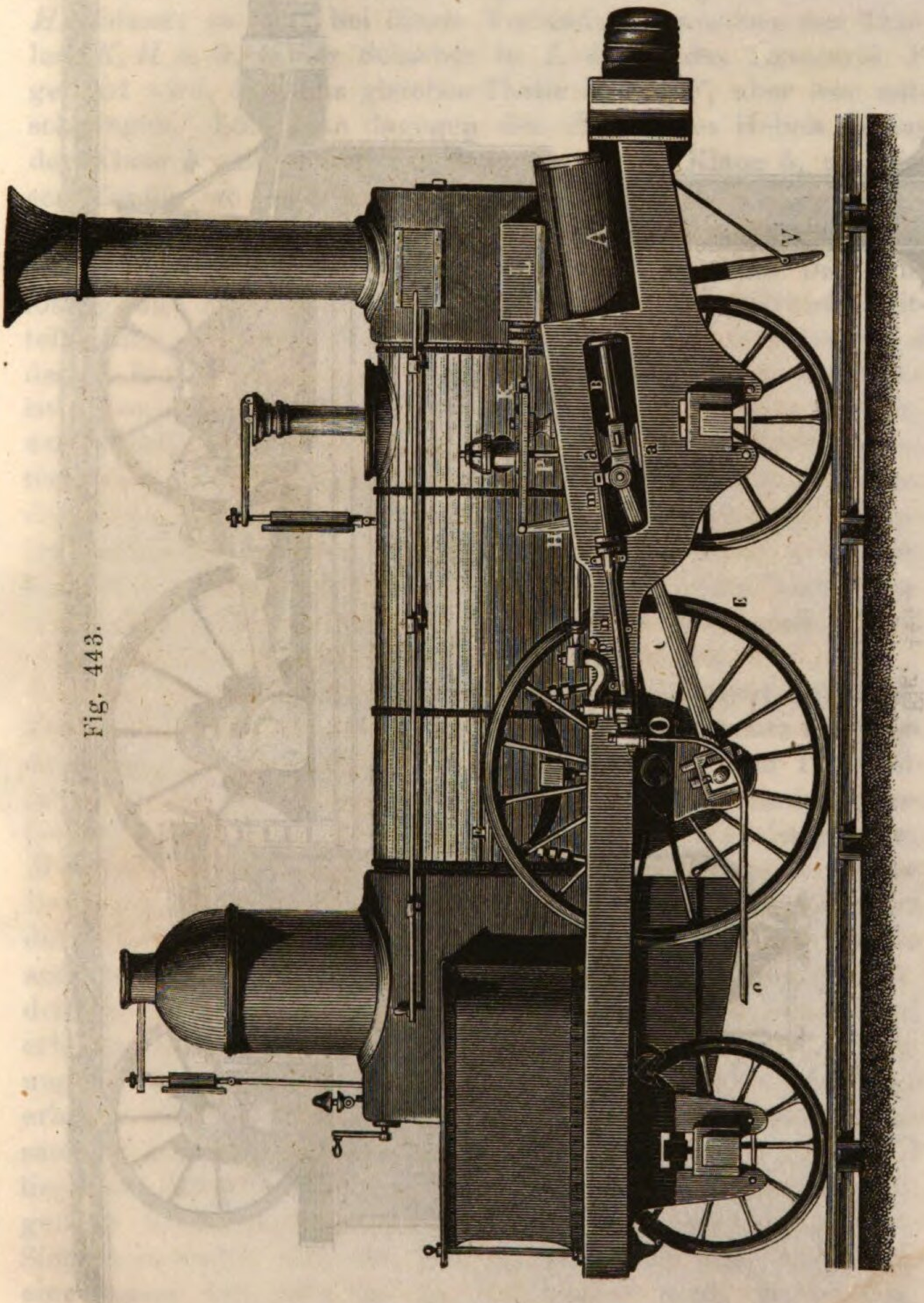


Fig. 443.

G, G_1 aus; mit diesen Klauen kann der untere Zapfen eines Winkelhebels H (Fig. 443) erfasst werden, an welchem die

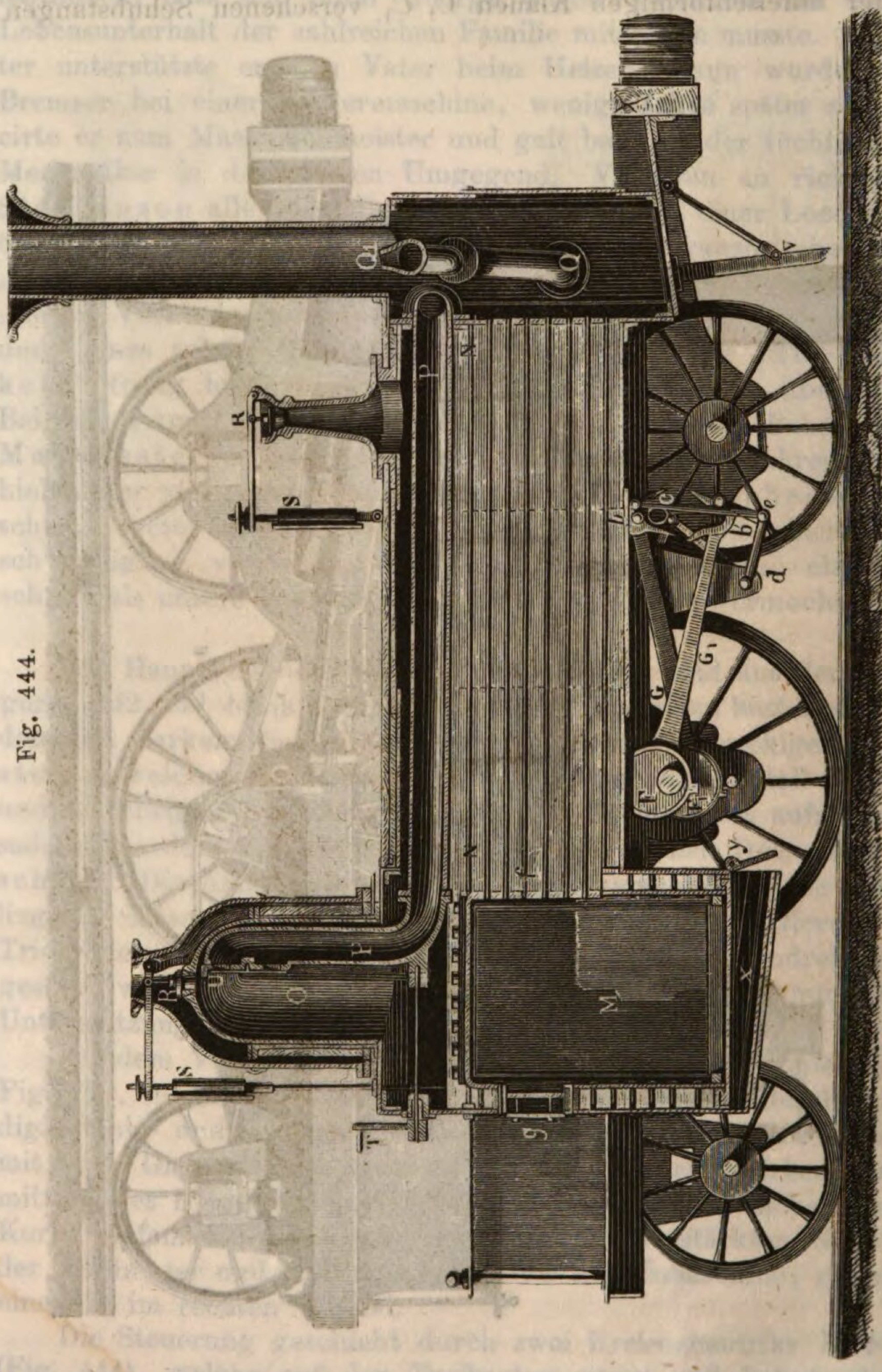


Fig. 444.

Schieberstange K angeschlossen ist. Der Schieber selbst bewegt sich in der Dampfbüchse L, zu welcher der Dampf von der Innenseite der Maschine zugeführt wird. In der Fig. 444 hält die Klaue b der Schubstange G den Zapfen des Hebels H umfasst, so dass bei dieser Verbindung zwischen den Theilen K, H, b, G, F der Schieber in L durch das Excentrik F geführt wird, die ganz gleichen Theile b_1, G_1, F_1 aber leer mitschwingen. Löst man dagegen den Zapfen des Hebels H aus der Klaue b aus und schiebt statt dessen die Klaue b_1 um diesen Zapfen, so wird der Schieber in L nun durch das entgegengesetzt gestellte Excentrik F_1 geführt und daher der Maschine eine entgegengesetzte Umdrehung ertheilt. Die Auslösung und Einhakung der Stangen G und G_1 geschieht mittelst eines Winkelhebels Cde, dessen Drehpunkt in d liegt und dessen Ende e mit den Schubstangen G und G_1 fest verbunden ist. Von dem oberen Kopfe dieses Hebels geht eine in der Fig. 443 punktirt gezeichnete Stange f zum Standorte des Locomotivführers, woselbst sie in eine Handhabe ausläuft, die auf den beiden äusseren Stellungen und auf der mittleren festgelegt werden kann. In letzterer Stellung umfasst keine der Klauen b, b_1 den Zapfen des Hebels H, vielmehr liegt letzterer zwischen beiden Klauen; der Schieber kann daher auch nicht bewegt werden und die Maschine steht still.

Der Kessel der Locomotive ist der sogenannte Röhrenkessel, Fig. 443, ein rings geschlossener cylindrischer Behälter, der seiner ganzen Länge nach von sehr vielen, zur Durchleitung der Feuerluft dienenden, messingenen oder schmiedeeisernen Röhren von circa $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser durchzogen ist. M ist der Feuerkasten, x der Aschenfall, g die Heizthür, N der Dampfkessel mit seinen zahlreichen Röhren. Die Flamme und die heissen Gase, welche sich in M entwickeln, finden keinen anderen Ausweg zum Kamin, als durch die Rauchröhren; indem sie dieselben der ganzen Länge nach durchstreichen und erhitzen, bringen sie bei der sehr bedeutenden Heizfläche eine ungemein rasche Dampfproduction zu Wege. Auf dem Kessel erhebt sich die Dampfhaube O, in welcher sich der Dampf ansammelt und aus welcher er durch ein besonderes, im Kessel liegendes Dampfrohr PP zu dem Schieberkasten L, Fig. 443, geführt wird. R, R sind zwei bereits in §. 262 beschriebene Sicherheitsventile mit den Federwaagen S, S, von denen das eine ausser dem Bereiche des Maschinisten liegt. Durch Umdrehung der Kurbel T wird im Innern der Dampfhaube eine

fächerförmig durchbrochene Scheibe vor der ebenfalls durchbrochenen Fläche *U*, Fig. 445, des Dampfrohres *PP* bewegt. Correspondiren die Oeffnungen der Scheibe mit denen der Fläche *U*, so kann der Dampf in das Rohr *PP* und in die Maschine gelangen; im anderen Falle aber ist der Dampf von dem Schieberkasten abgesperrt und die Maschine steht still. Die

Fig. 445.

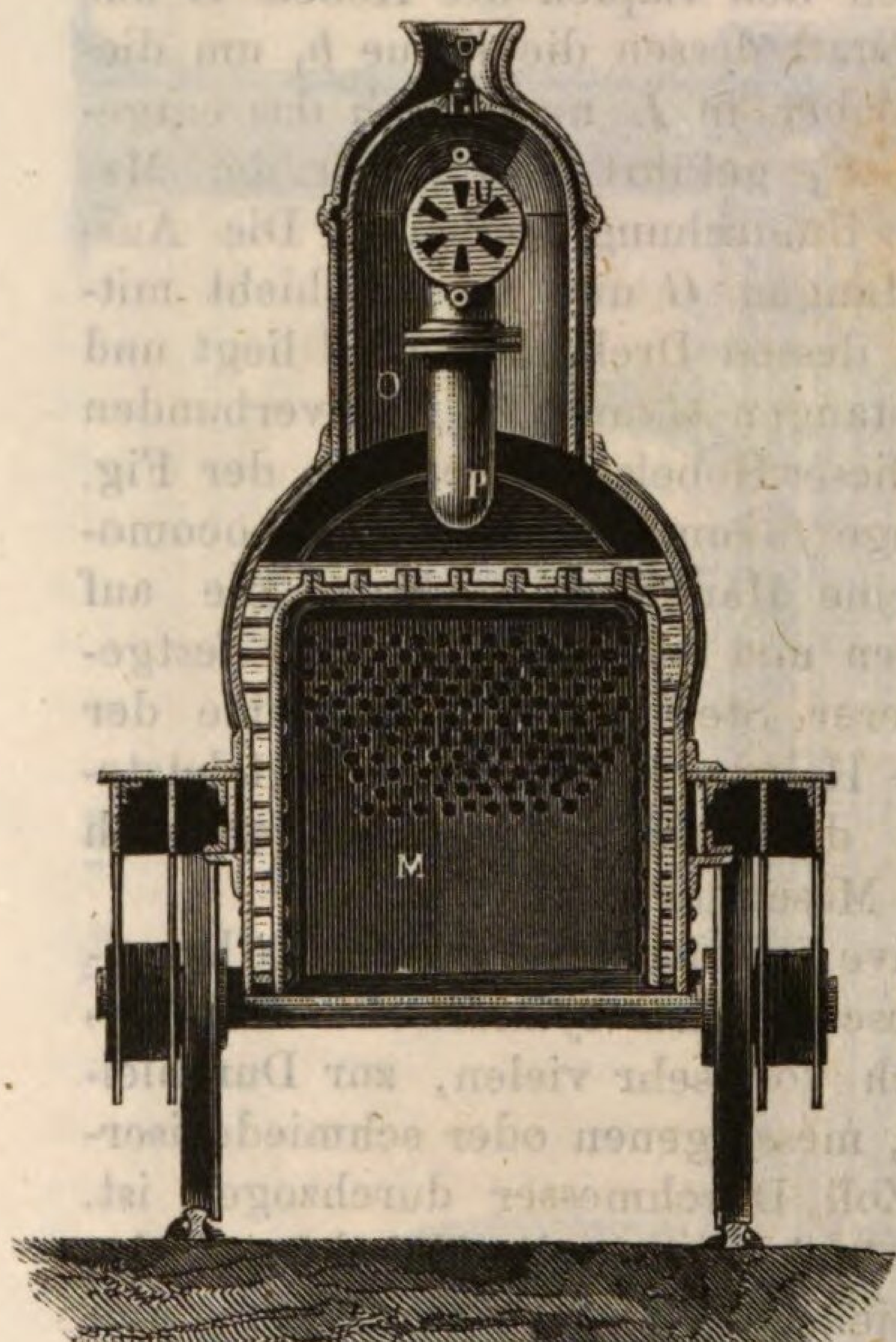
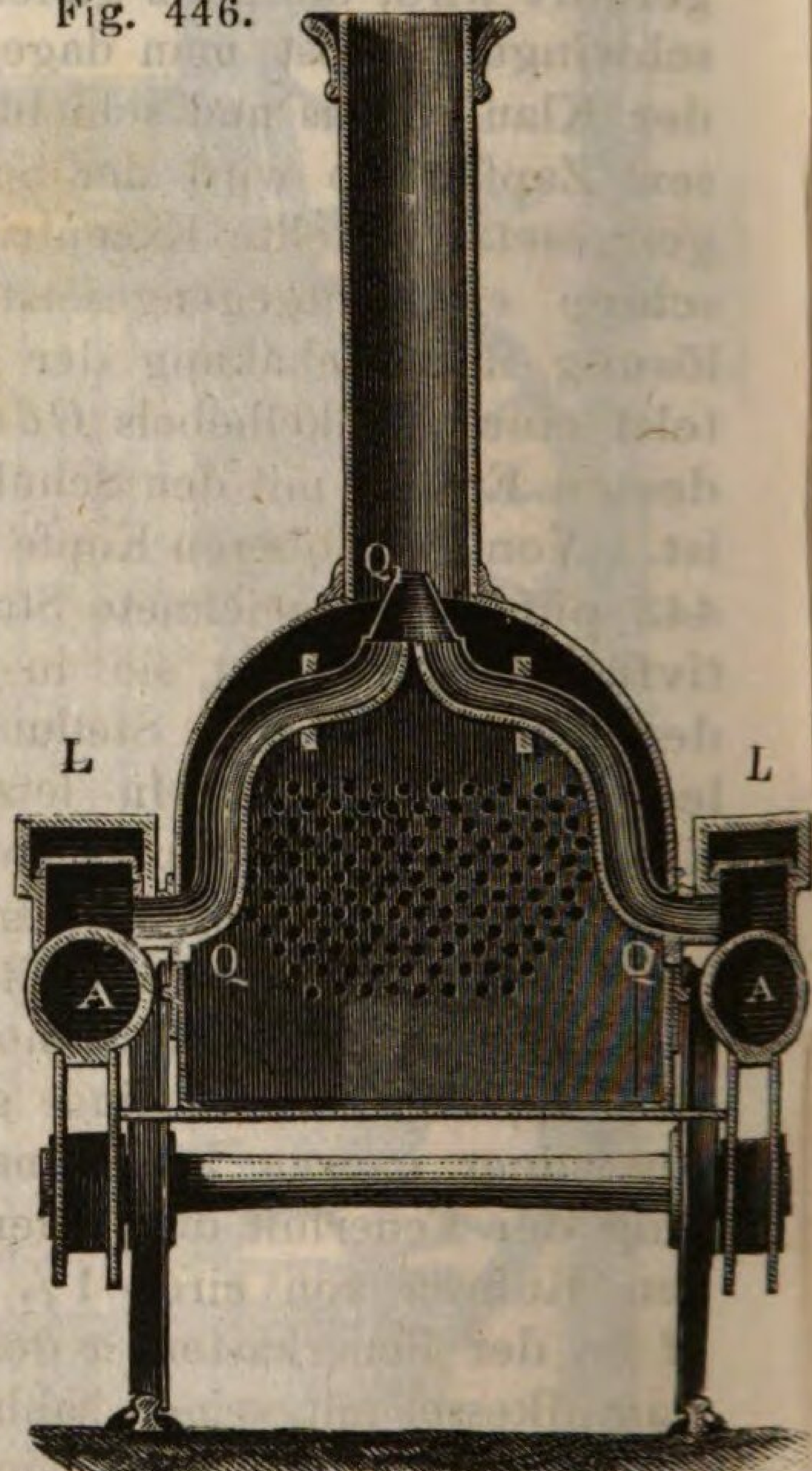


Fig. 446.



durchlöcherte Scheibe ist häufig durch ein zwischen der Dampfhaube *O* und dem Dampfrohre *P* befindliches Ventil ersetzt, das sich durch die Umdrehung der Handhabe *T* mehr oder weniger öffnen lässt. Die eine wie die andere Vorrichtung wird der Regulator genannt.

Aus den Figuren 444 und 446 ist noch zu ersehen, auf welche Weise der verbrauchte Dampf aus der Steuerkammer entweichen und an die freie Luft gelangen kann. Während nämlich der frische Dampf durch das Rohr *PP* in den Steuerkasten *L* einströmt, tritt der verbrauchte Dampf aus den von der Schieberhöhlung bedeckten Abströmungsöffnungen der bei

den Maschinen durch ein Rohr Q in ein gemeinschaftliches konisch sich verengendes Ausblaserohr, welches in den unteren Theil des Kamins ausmündet und den Dampf durch den Schornstein an die freie Luft abführt. Dieses kräftige Ausströmen des Dampfes ist es vorzugsweise, welches den Zug für das Feuer bildet und wodurch die heissen Gase genöthigt werden, durch die Röhren des Kessels zu streichen. Bei dem niedrigen Schornstein der Locomotive würde nämlich eine lebhafte Verbrennung im Feuerkasten gar nicht zu ermöglichen sein, wenn nicht ein kräftiger, künstlicher Zug erzeugt würde. Ein solcher kommt aber in der That dadurch zu Stande, dass man den verbrauchten Dampf in die Schornsteinröhre einströmen lässt und so der darin befindlichen Luft die Bewegung des Dampfes mittheilt. Natürlich muss die auf diese Weise mitgerissene Luft fortwährend durch andere, welche nur durch den Rost einströmen kann und nach bewirkter Verbrennung des Brennmaterials durch die vielen Röhren des Kessels hindurchstreicht, ersetzt werden.

In Fig. 443 sieht man noch die Speisepumpe op, deren Kolbenstange m an das Querhaupt aa der Treibkolbenstange B angeschlossen ist. Während des Laufes der Locomotive bewegt sich der Pumpenkolben in seinem Stiefel n hin und her, wobei das Speisewasser durch das Rohr $o\,O$ aus dem der Locomotive angeschlossenen Tender aufgesaugt und durch das Rohr p bei P in den Kessel eingepresst wird. Endlich bemerkt man ebendaselbst bei V den sogenannten Schneeschuh, der dazu dient, im Winter durch angebundene Besen die Schienen von Schnee zu reinigen und überhaupt fremde auf den Schienen liegende Gegenstände zu beseitigen.

Wir haben bereits im ersten Theile Seite 472 näher nachgewiesen, dass die Fortbewegung der Locomotive oder das Rollen ihrer Treibräder nur dann möglich ist, wenn die gleitende Reibung zwischen diesen Rädern und den Schienen grösser ist, als der von der Maschine zu überwindende Gesammtwiderstand. Wenn nämlich dieser Widerstand grösser ist, als jene Reibung, so drehen sich zwar bei hinreichendem Dampfdruck die Treibräder rund, allein es wird dann zugleich die gleitende Reibung an den Schienen überwunden, so dass die sich drehenden Räder auf den Schienen schleifen, die Locomotive aber stehen bleibt. Aus diesem Grunde muss man die Adhärenz der Treibräder gegen die Schienen möglichst gross machen. Gelingt dieses nicht an einem Räderpaar, so

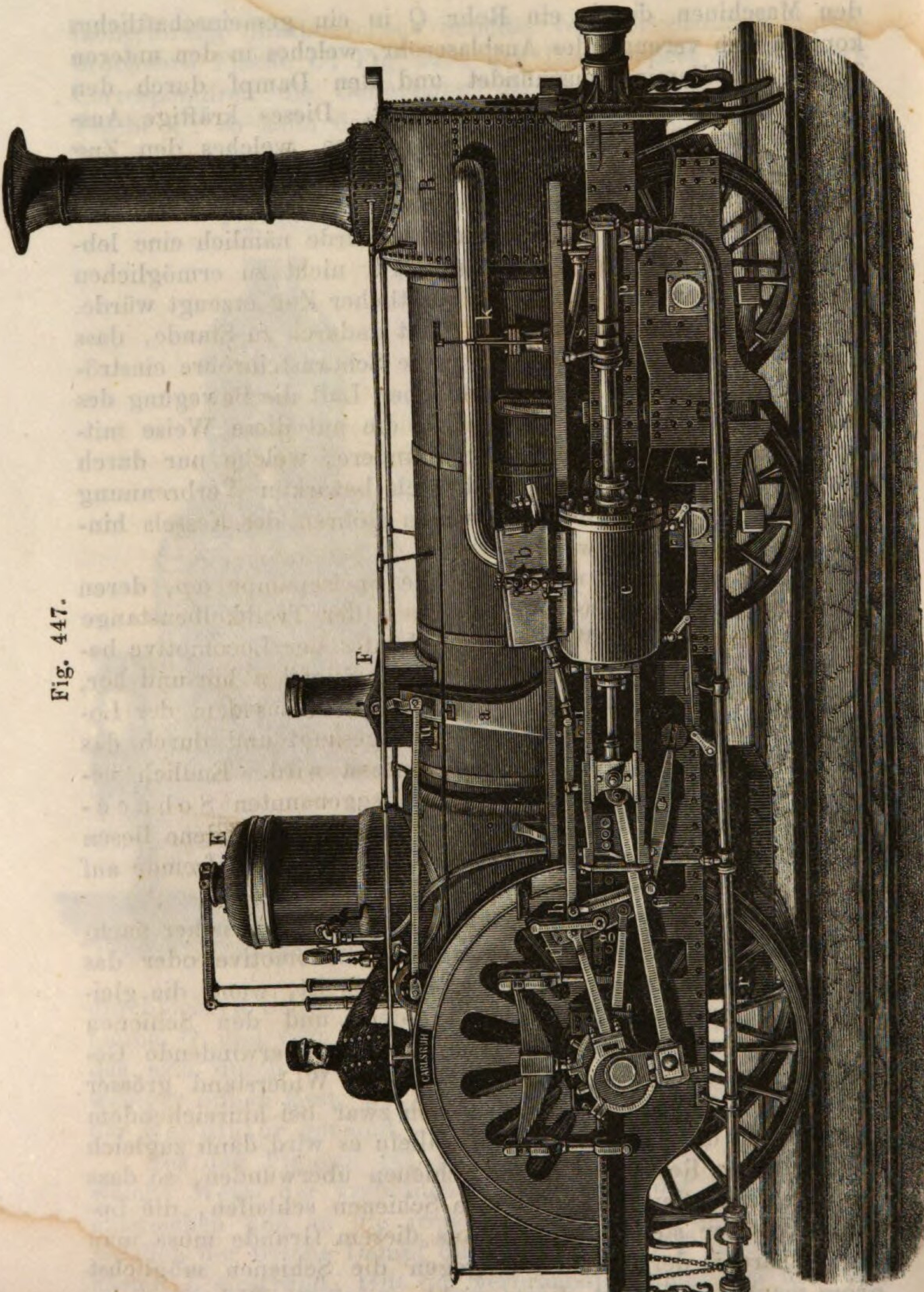


Fig. 447.

werden, wie wir ebenfalls bereits gesehen haben, die anderen Räderpaare mit den Treibrädern gekuppelt, so dass das ganze Gewicht der Locomotive nöthigenfalls dazu benutzt werden kann, um den erforderlichen Grad der gleitenden Reibung zwischen der Maschine und den Schienen zu erhalten und damit das Zugvermögen derselben zu erhöhen.

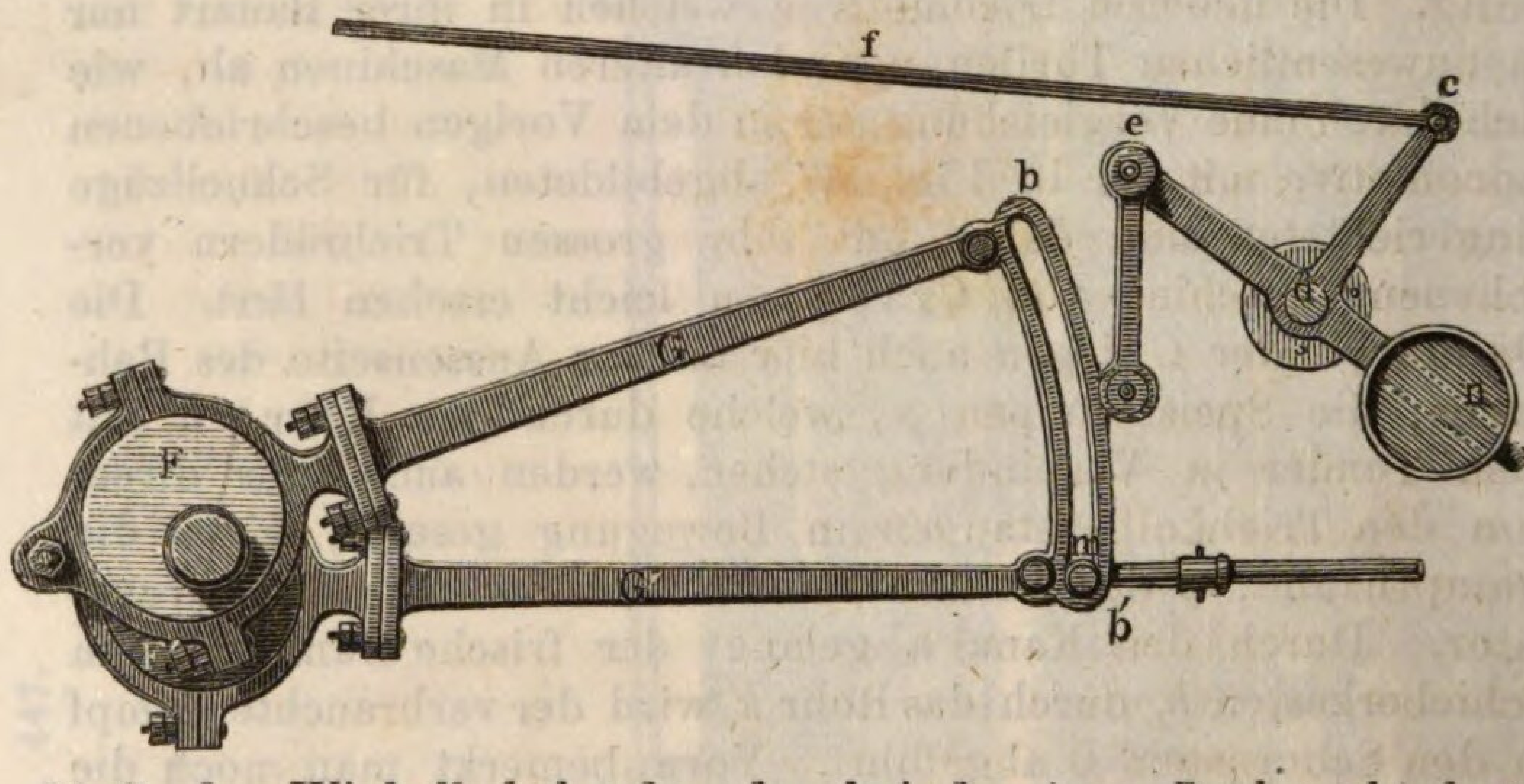
Die Crampton'sche Locomotive mit Coulissensteuerung. Die neueren Locomotiven weichen in ihrer Bauart nur in unwesentlichen Theilen von den älteren Maschinen ab, wie sich durch eine Vergleichung der in dem Vorigen beschriebenen Locomotive mit der in Fig. 447 abgebildeten, für Schnellzüge eingerichteten und daher mit sehr grossen Triebrädern versehenen Maschine von Crampton leicht ersehen lässt. Die Dampfcylinder C liegen auch hier an der Aussenseite des Rahmens; die Speisepumpen p, welche durch das Rohr rr mit dem Tender in Verbindung stehen, werden auch hier direct von den Triebkolbenstangen in Bewegung gesetzt; E ist die Dampfhaube, u der in dem Raume F befindliche Dampfregulator. Durch den Kanal a gelangt der frische Dampf in den Schieberkasten b, durch das Rohr k wird der verbrauchte Dampf in den Schornstein B abgeführt. Vorn bemerkt man noch die Schneeschuhe und auf der Dampfhaube E die Sicherheitsventile, die Dampfpfeife und das Metallmanometer. 273

Die Umsteuerung dagegen geschieht bei den neueren Locomotiven in anderer Weise, als es in dem vorigen Paragraphen erläutert worden ist, und zwar ist die am meisten gebräuchliche Vorrichtung die Stephenson'sche Coulissen- oder Taschensteuerung, wie sie in Fig. 448 (a. f. S.) abgebildet ist. Auf der Welle der Triebräder sitzen nämlich wie gewöhnlich in entgegengesetzten Stellungen zwei Excentriks F, F_1 mit ihren Schubstangen G, G_1. Die Endpunkte b, b_1 dieser Schubstangen sind durch eine Coulisse oder Tasche mit einander verbunden, welche sich durch ein Hebelwerk f, c, d, e heben oder senken lässt. In der Coulisse liegt der Zapfen m, welcher den Endpunkt der Schieberstange bildet; hebt oder senkt man die Coulisse, so gleitet sie über den Zapfen m und hält denselben stets umfasst; es ist hierdurch ermöglicht, einen jeden Punkt der Coulisse an den Zapfen m zu bringen, und dadurch die Führung des Schiebers im Steuerkasten nach Belieben auf die Schubstange G oder auf G_1, oder auch auf einen mittleren Punkt der Coulisse zu übertragen. Bei der Lage der einzelnen Theile in Fig. 448 ist die Führung des Schiebers durch Kuppelung

des Zapfens *m* mit dem Endpunkte b_1 der Schubstange G_1 dem Vorwärts-Excentrik F_1 übertragen, wobei die Maschine vorwärts geht und die Theile *F*, *G*, *b* leer laufen.

Zieht man aber mittelst der Zugstange *f*, welche an dem Standorte des Locomotivführers in eine kräftige Handhabe aus-

Fig. 448.

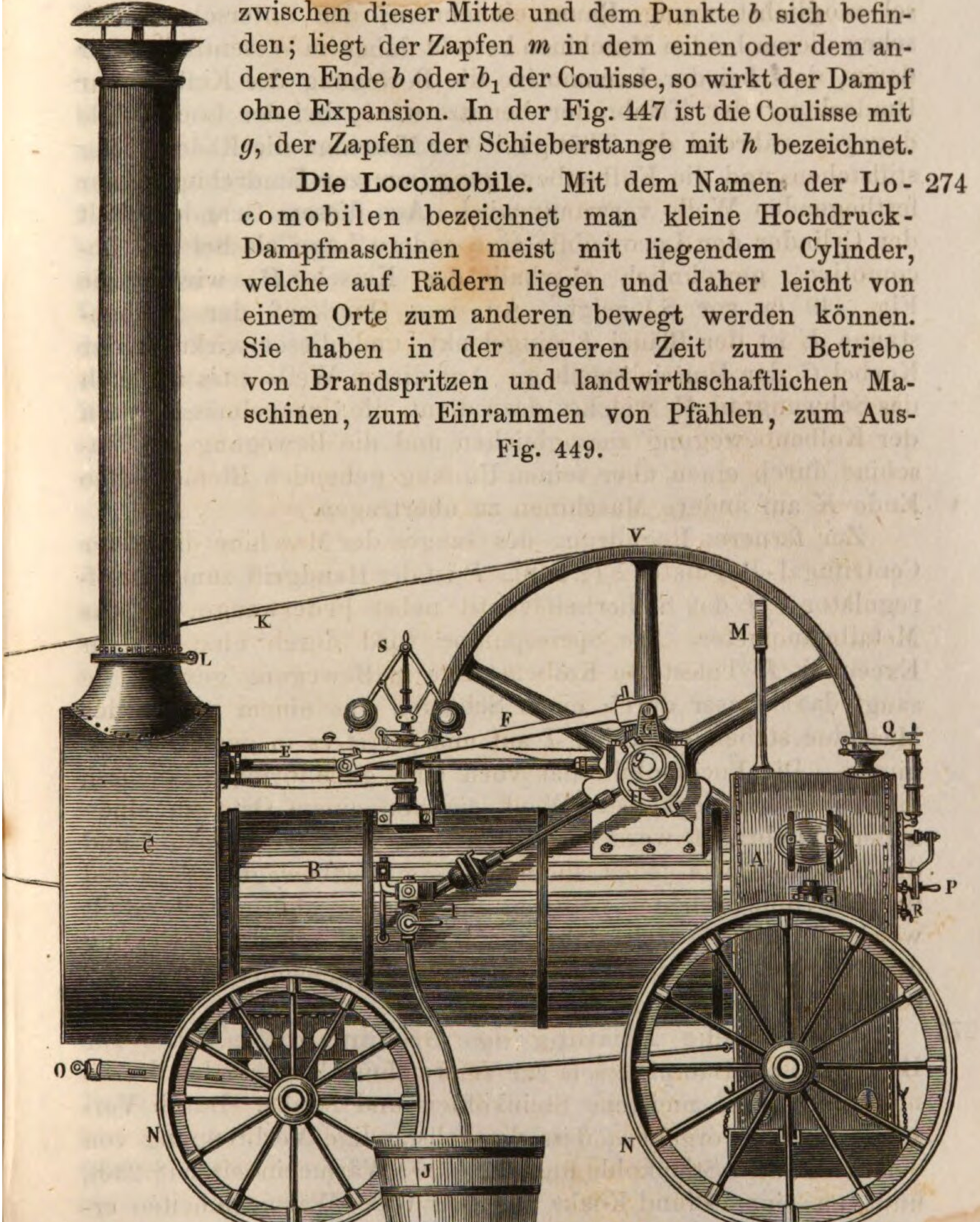


läuft, den Winkelhebel *cde*, der bei *d* seinen Drehpunkt hat, an, so bewegt sich der Arm *cd* nach links, der Arm *de* dreht sich um *d*, und der Punkt *e* nebst der daran hängenden Coulisse bewegt sich nach unten. In Folge hiervon geht der Punkt b_1 der Schubstange G_1 abwärts, dagegen ergreift, wenn die Stange *f* ganz angezogen worden ist, der Punkt *b* der Schubstange *G* den Zapfen *m* der Schieberstange. Auf diese Weise ist die Führung des Schiebers von dem Vorwärts-Excentrik F_1 auf das Rückwärts-Excentrik *F* übertragen, die Maschine geht also rückwärts und die Theile F_1, G_1, b_1 laufen leer. Auf der Verlängerung des Hebelarmes *de* ist ein Gewicht *n* als Gegengewicht zu dem Gewichte der Schubstangen *G*, G_1 und der Coulisse $b\,b_1$ angebracht, damit diese Theile sich leicht in jeder beliebigen Stellung, die man ihnen gegeben hat, erhalten lassen. Stellt man die Coulisse genau in ihre mittlere Stellung, so findet eine Bewegung des Schieberzpafens *m* gar nicht, oder doch nur in so geringem Grade statt, dass die Maschine nicht umlaufen kann. In den Stellungen zwischen dieser mittleren und den beiden äussersten steht der Schieber unter dem Einflusse beider Excentriks, wodurch ein mehr oder minder grosser Grad von Expansion des Dampfes eintritt. Bei der Vorwärtsbewegung

muss daher der Zapfen *m* zwischen der Mitte der Coulisse und dem Punkte b_1, bei der Rückwärtsbewegung dagegen zwischen dieser Mitte und dem Punkte *b* sich befinden; liegt der Zapfen *m* in dem einen oder dem anderen Ende *b* oder b_1 der Coulisse, so wirkt der Dampf ohne Expansion. In der Fig. 447 ist die Coulisse mit *g*, der Zapfen der Schieberstange mit *h* bezeichnet.

Die Locomobile. Mit dem Namen der Lo- 274
comobilen bezeichnet man kleine Hochdruck-Dampfmaschinen meist mit liegendem Cylinder, welche auf Rädern liegen und daher leicht von einem Orte zum anderen bewegt werden können. Sie haben in der neueren Zeit zum Betriebe von Brandspritzen und landwirthschaftlichen Maschinen, zum Einrammen von Pfählen, zum Aus-

Fig. 449.



pumpen von Fundamentgruben u. s. w. vielfach Verwendung gefunden. Wie bei der Locomotive müssen Maschine und Kessel möglichst wenig Raum einnehmen; der Unterschied zwischen diesen beiden Maschinen besteht daher im Wesentlichen nur darin, dass bei der Locomotive die Bewegung des Kolbens zur Umdrehung der Triebräder benutzt wird, bei der Locomobile dagegen während der Thätigkeit der Maschine die Räder völlig stillstehen und die Kolbenbewegung nur zur Umdrehung einer festliegenden Welle verwandt wird. Aus diesem Grunde erhält der Cylinder der Locomobile eine andere Lage, als bei der Locomotive, gewöhnlich oberhalb des Kessels *B*, wie es die Fig. 449 (a. vor. S.) zeigt. An dem Querkopf der Kolbenstange *E* ist der Bläuel *F* eingelenkt, und dieser wirkt an der Kurbel *G* der Umtriebswelle *g*. Auf dieser Welle sitzt zugleich das Schwungrad *V*, welches dazu dient, die Unregelmässigkeiten der Kolbenbewegung auszugleichen und die Bewegung der Maschine durch einen über seinen Umfang gehenden Riemen ohne Ende *K* auf andere Maschinen zu übertragen.

Zur ferneren Regulirung des Ganges der Maschine dient der Centrifugal-Regulator *S* (§. 248). *P* ist der Handgriff zum Dampfregulator, *Q* das Sicherheitsventil nebst Federwaage, *M* das Metallmanometer. Die Speisepumpe wird durch eine an dem Excentrik *H* befestigte Kolbenstange in Bewegung gesetzt; sie saugt das Wasser durch einen Schlauch aus einem neben der Maschine stehenden Kübel *J* auf und presst es in den Kessel *B* hinein. Die Locomobile hat vorn eine gabelförmige Deichsel, die bei *O* eingelenkt ist. Wenn sie von einem Orte an einen anderen gebracht werden soll, wird ein Pferd vorgespannt und die Maschine wie jeder andere Wagen fortbewegt. Während die Maschine arbeitet, müssen die Räder gehörig festgestellt werden, damit sie sich nicht in Folge der durch die Bewegung des Kolbens und der übrigen Theile entstehenden Erschütterungen von der Stelle bewege.

275 **Mechanische Leistung des Brennmaterials.** Die zur Heizung eines Dampfkessels zur Verwendung kommenden Brennmaterialien sind meistens Steinkohlen und Koaks. Durch Versuche hat sich ergeben, dass die vollständige Verbrennung von einem Pfund Steinkohle ungefähr 7500 Wärmeeinheiten (§. 230), und von einem Pfund Koaks ungefähr 6000 Wärmeeinheiten erzeugt. Aus der auf Seite 469 mitgetheilten Tabelle ergiebt sich aber, dass für die Wärmemenge, welche nöthig ist, um ein Pfund Wasser von 0^0 in gesättigten Dampf von 4 bis 6 Atmo-

sphären Spannung zu verwandeln, annähernd 650 Wärmeeinheiten erforderlich sind. Es folgt hieraus, wenn alle durch die Verbrennung erzeugte Wärme ausschliesslich dazu verwendet würde, das Wasser in Dampf zu verwandeln, dass ein Pfund Steinkohle 11,5 Pfund Dampf, und ein Pfund Koaks 9,2 Pfund Dampf bilden würde. Allein dieser Effect wird bei weitem nicht erreicht; denn einestheils leiten die gasförmigen Verbrennungsproducte, die, um durch die Esse abgeführt werden zu können, eine ziemlich hohe Temperatur haben müssen, einen beträchtlichen Theil der erzeugten Wärme nutzlos ab, und anderntheils enthält die durch den Rost einströmende und zur Verbrennung erforderliche Luft eine grosse Menge Stickstoff, der zur Verbrennung nicht wesentlich mitwirkt; dazu kommt noch, dass nur ein Theil des zuströmenden Sauerstoffs bei der Verbrennung mitwirkt, ein anderer Theil aber mit dem Stickstoff unverbraucht abzieht. Alles dieses hat zur Folge, dass eine sehr bedeutende Gasmenge nutzlos durch den Heerd streicht, sich den übrigen Producten der Verbrennung beimengt und so einen grossen Theil der erzeugten Wärme unverbraucht durch den Kamin abführt. Nimmt man noch hinzu, dass die Verbrennung des Heizmaterials selten eine vollständige ist, und dass wieder ein Theil der erzeugten Wärme theils durch Ausstrahlung nach aussen, theils durch die Erwärmung des Heerdes selbst der Dampfbildung entzogen wird, so wird man begreifen, dass man in der Wirklichkeit durch die Verbrennung der Kohlen oder Koaks das oben bezeichnete Dampfquantum bei weitem nicht erreichen wird. Die Erfahrung lehrt daher auch, dass selbst bei den besten Constructionen des Heerdes die durch die Verbrennung von einem Pfund Steinkohle erzeugte Wärme höchstens 7 bis 8 Pfund Wasser in Dampf verwandeln kann.

Vermittelst des Prony'schen Zaumes (I. §. 230), den man auf die Triebwelle einer Dampfmaschine wirken lässt, hat man gefunden, dass in guten Maschinen, die mit Condensation und Expansion arbeiten, 1 Pfund Dampf eine Nutzarbeit von ungefähr 96000 Fusspfund leistet. Da nun zur Erzeugung von 1 Pfund Dampf nach dem Obigen ungefähr $\frac{1}{8}$ Pfund Kohle erforderlich ist, so ist die ökonomische Leistung von 1 Pfund Kohle ungefähr $8 \times 96000 = 768000$ Fusspfund. Bei den Cornwall-Maschinen (§. 242), über welche genauere Beobachtungen in Bezug auf den Verbrauch an Brennmaterial und den mechanischen Effect angestellt worden sind, sind Leistungen von 900000 bis 1 Million Fusspfund für 1 Pfund Kohle nicht ungewöhnlich, wogegen bei

den gewöhnlichen stationären Maschinen die durchschnittliche Leistung von 1 Pfund Kohle in runder Zahl zu 250000 Fusspfund angenommen werden kann.

In den meisten Fällen pflegt man den Verbrauch an Brennmaterial bei einer Dampfmaschine durch das Gewicht der in 1 Stunde für 1 Pferdekraft verzehrten Kohle anzugeben, wobei es, wenn man nicht Fehlschlüsse machen will, natürlich feststehen muss, dass die der Maschine beigelegten (nominellen) Pferdekräfte mit ihrer wirklichen Arbeitskraft übereinstimmen. Man rechnet dann bei stationären und Schiffsmaschinen, wenn sie mit voller Kraft arbeiten, pro Stunde und Pferdekraft 10 Pfund Kohle. Wenn jedoch die Maschine sorgfältig construirt ist und gehörig abgewartet wird, so geht der Verbrauch an Kohlen nicht über 7 bis 8 Pfund, bei den Cornwallmaschinen sogar nicht über 5 Pfund pro Stunde und Pferdekraft.

276 **Maschine mit combinirten Dämpfen.** Bei der gewöhnlichen Dampfmaschine wird nur ein sehr kleiner Theil der zur Dampfbildung verwandten Wärme nutzbar gemacht. In dem Augenblicke nämlich, wo der Dampf im Cylinder aufhört zu wirken und mit dem Condensator oder der atmosphärischen Luft in Verbindung gesetzt wird, enthält derselbe noch eine bedeutende Wärmemenge, von welcher der grösste Theil gebunden ist (§. 230). Man hat nun gesucht, diese Wärme dadurch nutzbar zu machen, dass man sie zur Verdampfung einer anderen Flüssigkeit verwendet, welche weit flüchtiger ist, als das Wasser, und dass man den so erzeugten Dampf dieser Flüssigkeit zum Umtriebe entweder derselben oder einer anderen Maschine mitwirken lässt. Da der Schwefeläther schon bei 37,8^0C., Schwefelkohlenstoff bei 47,0^0 C., Chloroform bei 60,5^0C. verdampft, und die Dämpfe dieser Flüssigkeiten bei gleicher Temperatur eine viel grössere Spannung haben als der Wasserdampf, so sind sie zur Anwendung des genannten Princips besonders geeignet. Maschinen dieser Art, in welchen neben dem Wasserdampf noch der Dampf von Schwefeläther oder Chloroform wirkt, werden *Maschinen mit combinirten Dämpfen* genannt; ihre Einrichtung ist im Allgemeinen folgende.

Zwei Kolben, von denen der eine durch den Wasserdampf, der andere durch den Dampf von Chloroform in einem Cylinder in Bewegung gesetzt wird, wirken auf eine und dieselbe Welle. Wenn der Wasserdampf in dem für ihn bestimmten Cylinder aufhört zu wirken, wird er in einen Behälter geleitet, in welchem er mit den das Chloroform enthaltenden besonde-

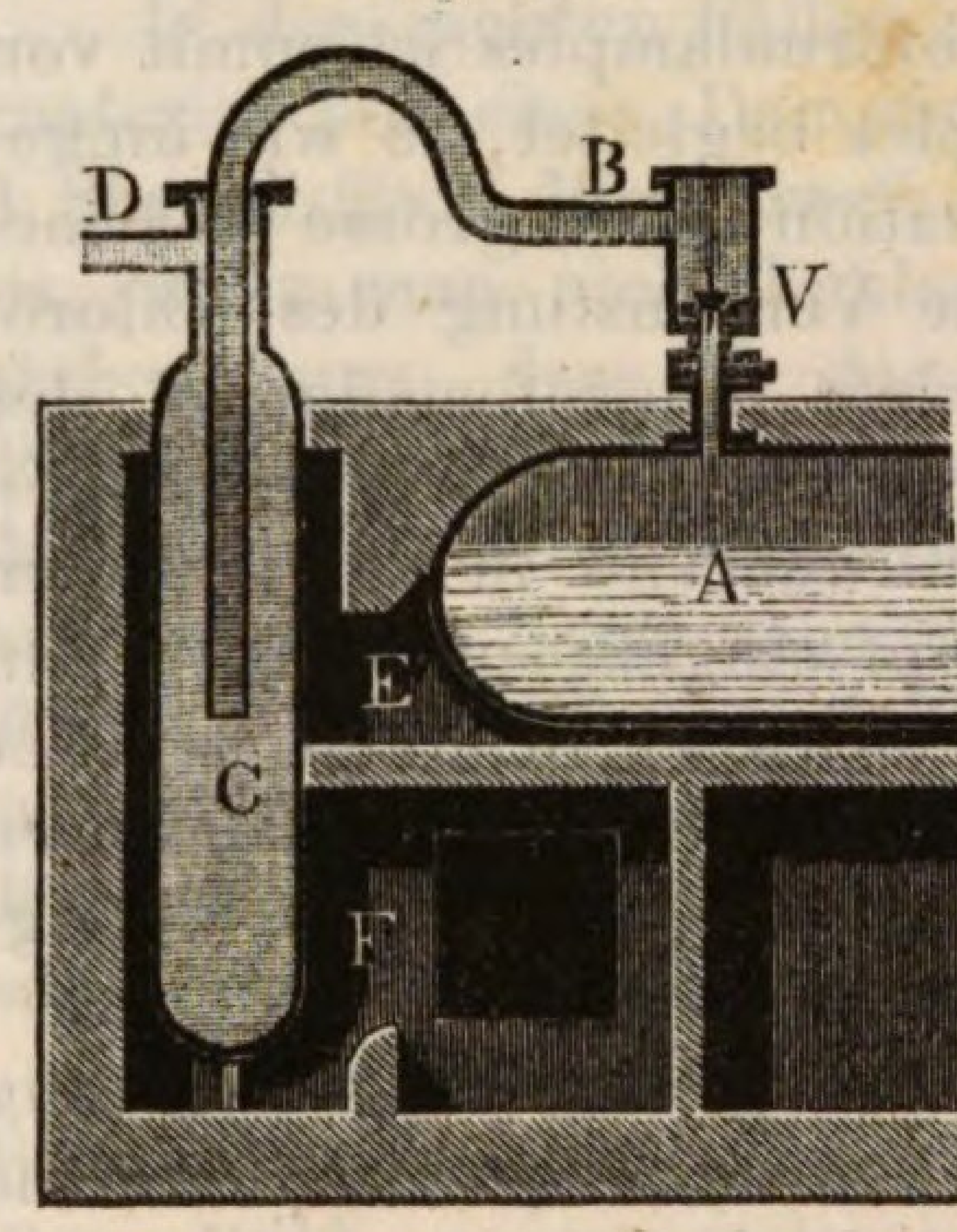
ren Gefässen in Berührung kommt und dadurch condensirt wird. Zur Verdunstung des Chloroforms ist nämlich eine beträchtliche Wärme erforderlich, welche dem Wasserdampf entzogen wird; die Bildung des Chloroformdampfes ist somit von einer Condensation des Wasserdampfes begleitet, so wie umgekehrt wieder durch diese Condensation eine grosse Wärmemenge frei wird, die eine schnelle Verdunstung des Chloroforms zur Folge hat. Der so gebildete Chloroformdampf, der eine ziemlich bedeutende Spannung besitzt, wirkt nun auf den Kolben in einem zweiten Cylinder, während in den ersteren Cylinder wieder frischer Wasserdampf eingelassen wird. Wenn der Chloroformdampf gewirkt hat, wird er in einen Behälter geleitet, wo er durch kaltes Wasser, welches die äusseren Wände desselben fortwährend abkühlt, wieder zu einer Flüssigkeit verdichtet wird.

Es ist leicht einzusehen, dass die gleichzeitige Wirkung von Wasser- und Chloroform- oder Schwefelätherdämpfen eine grosse Ersparniss im Brennmaterial herbeiführt; allein diese Ersparniss wird zum Theil wieder aufgewogen durch den Verlust eines Theiles der flüchtigen Flüssigkeit, den man auch bei der grössten Sorgfalt nicht ganz vermeiden kann, und der um so mehr in die Wagschale fällt, als diese Substanzen theuer sind. Ungeachtet dieses Verlustes haben sich die Maschinen mit combinirten Dämpfen, wie sie bisher angewandt worden sind, in ökonomischer Beziehung doch noch als vortheilhaft erwiesen.

Maschinen mit überhitztem Dampfe. Wir haben bereits 277
früher gesehen (§. 228), dass, wenn es zur Bildung von Dampf nicht an Wasser fehlt, der Dampf also mit dem Wasser fortwährend in Berührung bleibt, die Spannung desselben von der Temperatur abhängig ist, und einer bestimmten Temperatur eine ganz bestimmte Spannung des Dampfes entspricht. Anders ist es, wenn man den Dampf, nachdem er von dem Wasser getrennt ist, in einem besondern Behälter weiter erhitzt; die nun noch zugeführte Wärme dient dann bei gleich bleibendem Volumen zur Vermehrung der Spannung, bei gleich bleibender Spannung aber zur Vergrösserung des Volumens, wie es bei den übrigen Gasen nach dem Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetze (§. 44) der Fall ist. Man nennt solchen vom Wasser getrennten und weiter erhitzten Dampf überhitzten Dampf, und hat es in der neueren Zeit versucht, denselben zum Betriebe von Dampfmaschinen anzuwenden. Die wesentlichste Einrichtung eines mit einem Ueberhitzer ver-

sehenen Dampfkessels ist aus der Fig. 450 zu ersehen. *A* ist das hintere, der Esse zunächst gelegene Ende des Dampfkessels,

Fig. 450.



C der Ueberhitzer, *B* das vom Kessel zum Ueberhitzer, so wie *D* das von letzterem zum Cylinder der Dampfmaschine führende Rohr. Die aus den Zügen des Feuerheerdes bei *E* abziehende Heizluft muss erst den ganzen Ueberhitzer *C* umspülen, bevor sie bei *F* in den Schornstein ientreten kann. Durch ein leichtes Ventil *V* in dem Rohre *B* wird die Dampfspannung im Ueberhitzer so regulirt, dass die Dampfspannung im Kessel nur wenig grösser ist, als im Ueberhitzer; die Wirkung des letzteren besteht daher vorzugsweise in der Vergrösserung des Dampfvolumens.

Nach einer anderen Einrichtung von Wethered wird ausser dem gewöhnlichen Dampfrohre, welches einen Theil gesättigten Dampfes nach der Dampfmaschine führt, noch ein anderes im Feuerkanal liegendes Schlangenrohr angewandt, um drei Theile Dampf zu überhitzen und in diesem überhitzten Zustande ebenfalls in die Steuerkammer der Dampfmaschine zu leiten. Es wird dadurch hauptsächlich bezweckt, das mit dem Dampf aus dem Kessel mechanisch fortgerissene Wasser unterwegs in Dampf zu verwandeln und zugleich durch die Temperaturerhöhung das Dampfvolumen zu vergrössern. Da nun die Leistung einer Dampfmaschine, wie sich aus §. 258 leicht ergiebt, dem derselben zugeführten Dampfvolumen proportional ist, so erhält man die $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$... fache Leistung, wenn man das Dampfvolumen durch die Ueberhitzung $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$. . . mal vergrössert. Dazu kommt noch ein anderer Vortheil. Wenn sich nämlich Dampf expandirt, ohne von den umgebenden Gefässwänden neue Wärme zu erhalten, so wird er in Folge der mit der Expansion verbundenen Abkühlung zum Theil condensirt. Diese Condensation wird nun verhütet, wenn man überhitzten Dampf anwendet, weil dadurch dem Dampfe im Voraus ein Ueberschuss an Wärme mitgetheilt wird, der nachher bei der eintretenden Expansion zur Verwendung kommen kann.

11. Die erhitzte Luft als bewegende Kraft.

Die calorische Maschine Ericsson's. Schon im vorigen 278
Jahrhundert wurden mannigfaltige Vorschläge gemacht, beim Betriebe der Maschinen den Wasserdampf durch erhitzte Luft zu ersetzen. Es ist klar, dass es zu diesem Zwecke im Allgemeinen nur eines geschlossenen Behälters bedarf, in welchem die Luft erhitzt, und dadurch in eine höhere Spannung versetzt werden kann. Lässt man dann die gespannte Luft in derselben Weise auf einen Kolben wirken, wie es in einer Dampfmaschine geschieht, und lässt man die verbrauchte Luft aus der Maschine an die freie atmosphärische Luft austreten, so hat sie immer noch eine bedeutende Wärme, die nutzlos verloren geht, jedoch ist dieser Verlust an Wärme bedeutend geringer, als bei der Anwendung von Wasserdampf. Wenn nämlich das Wasser sich in Dampf verwandelt, so wird eine sehr bedeutende Menge Wärme gebunden (§. 230), die erst wieder frei wird, wenn der Dampf sich zu Wasser condensirt. Diese ganze gebundene Wärmemenge geht mit dem Ausströmen des Dampfes an die freie Luft verloren, wogegen die erhitzte Luft gar keine Wärme gebunden hat und daher auch bei ihrem Ausströmen aus der Maschine deren keine verlieren kann. So vortheilhaft indessen auch die Anwendung der erhitzten Luft gegenüber dem Wasserdampfe erscheint, so ist es doch erst in der neueren Zeit gelungen, in der Construction der Heissluftmaschine, die man jetzt allgemein mit dem Namen der calorischen Maschine bezeichnet, über das physikalische Experiment hinauszugehen und derselben neben der Dampfmaschine in der Praxis einen Platz anzuweisen. Die Hauptschwierigkeit, welche man dabei zu überwinden hatte, bestand darin, dass man der Maschine gar zu grosse Dimensionen geben musste, wenn man die Luft nicht übermässig erhitzen wollte; brachte man aber, um die Dimensionen der Maschine zu vermindern, die Luft auf eine sehr hohe Temperatur, so stellte sich wieder eine Reihe von anderen Uebelständen ein; insbesondere aber war dann der Verlust an Wärme im Vergleich zu den Dampfmaschinen sehr gross. Ericsson, einem schwedischen, jetzt in Amerika lebenden Ingenieur ist es gelungen, diese Schwierigkeiten zu beseitigen, und nach sehr vielen erfolglosen Anstrengungen eine calorische Maschine

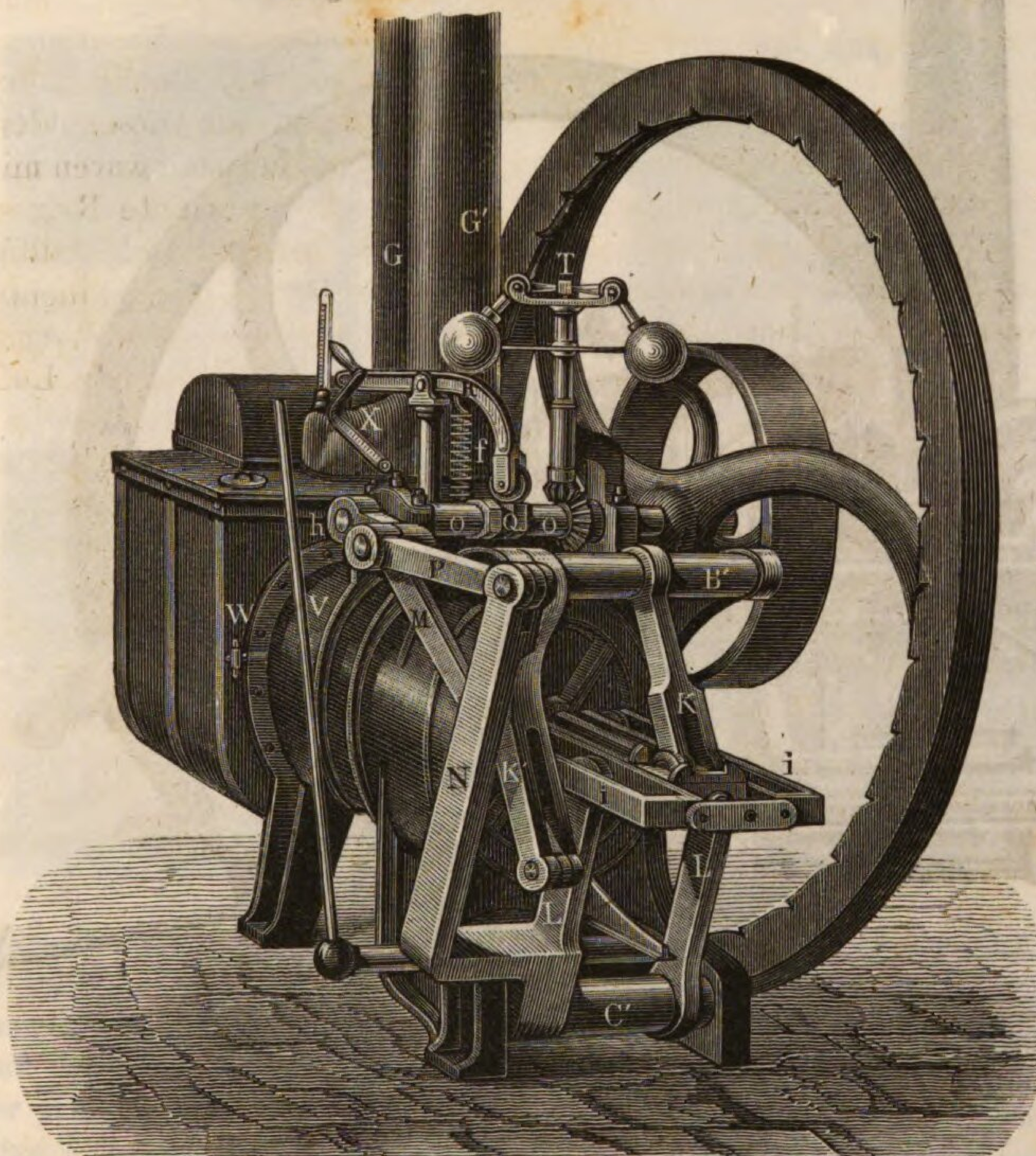
zu Stande zu bringen, welche in gewissen Gränzen ihren Platz neben der Dampfmaschine behaupten kann.

Die erste Idee Ericsson's lief darauf hinaus, die Spannkraft der erhitzten Luft zur Bewegung eines Kolbens derart zu benutzen, dass die einmal erzeugte Wärme keinen weiteren Verlust erleiden sollte, als etwa durch Strahlung der Maschinentheile nach aussen, und dass daher nur so viel Feuerung beständig zu unterhalten sei, als erforderlich ist, um diesen kleinen nicht zu beseitigenden Verlust zu decken. Hiernach waren mit der Ein- und Ausströmungsöffnung der Luft sogenannte Regeneratoren, grosse aus zahlreichen sich kreuzenden Metallfäden bestehende Drahtnetze verbunden, an welche die verbrauchte erhitzte Luft beim Ausströmen aus der Maschine ihre Wärme abgeben, und von denen die in die Maschine einströmende Luft die Wärme wieder aufnehmen sollte. Ericsson construirte nach diesem Principe zur Bewegung eines Schiffes zwei grosse Maschinen, die einen Effect von 600 Pferdekraft geben sollten; allein die beiden 1853 damit gemachten Probefahrten entsprachen nicht den gehegten Erwartungen und das calorische Schiff wurde in aller Stille in ein gewöhnliches Dampfschiff umgebaut. Ericsson gab nun seine anfängliche Idee der Regeneratoren auf und baute die calorische Maschine nach anderen Principien; er kam damit zum Ziele, und schon im Jahre 1859 waren in den Vereinigten Staaten von Nordamerika nahe an 1000, in New-York allein über 150 calorische Maschinen in Thätigkeit. Seitdem haben dieselben auch in Europa Eingang und zahlreiche Anwendung gefunden; allein ungeachtet der grossen Vortheile, welche sie vor den kleineren Dampfmaschinen voraus haben, sind sie wegen der erheblichen Mängel, welche ihnen anhaften, wenn sie nicht mit der erforderlichen Sorgfalt gebaut worden sind, nicht so verbreitet, wie es ihre Geeignetheit für den kleineren Gewerbebetrieb verdient. Von ganz vorzüglicher Güte sind die calorischen Maschinen, die aus der Fabrik Klett u. Comp. in Nürnberg hervorgehen; dieselben finden sich zum Betriebe von kleineren Geschäften in sehr grosser Zahl in dieser Stadt verbreitet und halten sich nach den zahlreichsten Erfahrungen ganz vortrefflich.

Die Einrichtung der calorischen Maschine, wie sie jetzt gebaut wird, ist aus den Figuren 451, 452, 453 und 454 zu ersehen. Fig. 451 zeigt eine perspectivische Ansicht der Maschine; Fig. 452 zeigt den Längenschnitt durch dieselbe, Fig. 453 enthält zur Hälfte den Querschnitt, zur Hälfte die Ansicht

des Speisekolbens, Fig. 454 zeigt das Ringventil in grösserem Maassstabe. Die gleichen Theile sind in den vier Figuren mit denselben Buchstaben bezeichnet.

Fig. 451.

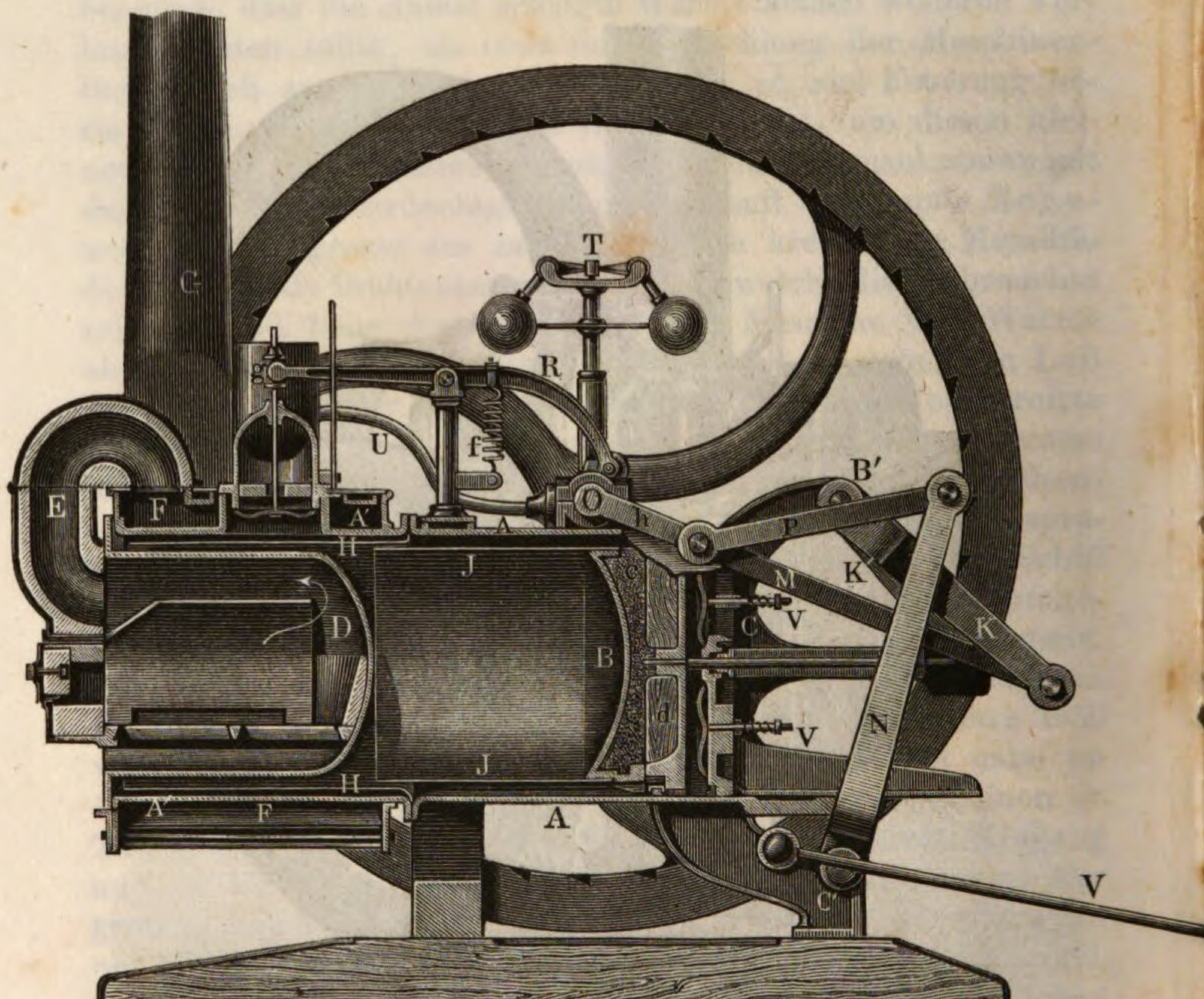


Der Arbeitscylinder *AAA′A′* besteht aus zwei zusammengeschraubten Theilen, deren einer *A′A′* (links) zur Aufnahme der Feuerung, der andere ausgedrehte Theil *AA* (rechts) zur Aufnahme des sogenannten Speisekolbens *B* und des Arbeitskolbens *C* dient.

In der Feuerbüchse *D*, welche an den Cylinder *A′* angeschraubt ist, befindet sich der Rost und der Aschenfall. Die heisse Feuerluft zieht in der durch den Pfeil angedeuteten

Richtung nach dem Kanal *E*, umspült dann den Raum *F* zwischen dem Arbeitscylinder und dem ihn umgebenden Blechmantel und gelangt durch das Rohr *G* in den Schornstein.

Fig. 452.



Die Feuerbüchse *D* ragt in den Arbeitscylinder *AA′* hinein, der vorn offen und bei *S* mit einem Auslassventil versehen, sonst aber völlig geschlossen ist. Der äussere Arbeitskolben *C* ist der eigentliche Triebkolben; er hat vier nach innen sich öffnende Ventile *V*, *V*, die zum Einlassen der kalten Luft dienen, und ist mit einer Lederkappe gelidert. Der zweite innere Kolben *B*, in Fig. 453 besonders gezeichnet, wird, weil er die kalte Luft in den Arbeitscylinder *A′A′* und an die heissen Wände der Feuerbüchse *D* zu bringen hat, Speisekolben genannt. An seinem Umfange ist er, wie Fig. 453 obere Hälfte

zeigt, mit schrägen Einschnitten *c, c* von 2 Zoll Breite und $\frac{1}{4}$ Zoll Tiefe ausgespart, die durch ein doppeltes rings an die Cylinderwand anschliessendes Ringventil *a* (Fig. 453 und 454)

Fig. 453.

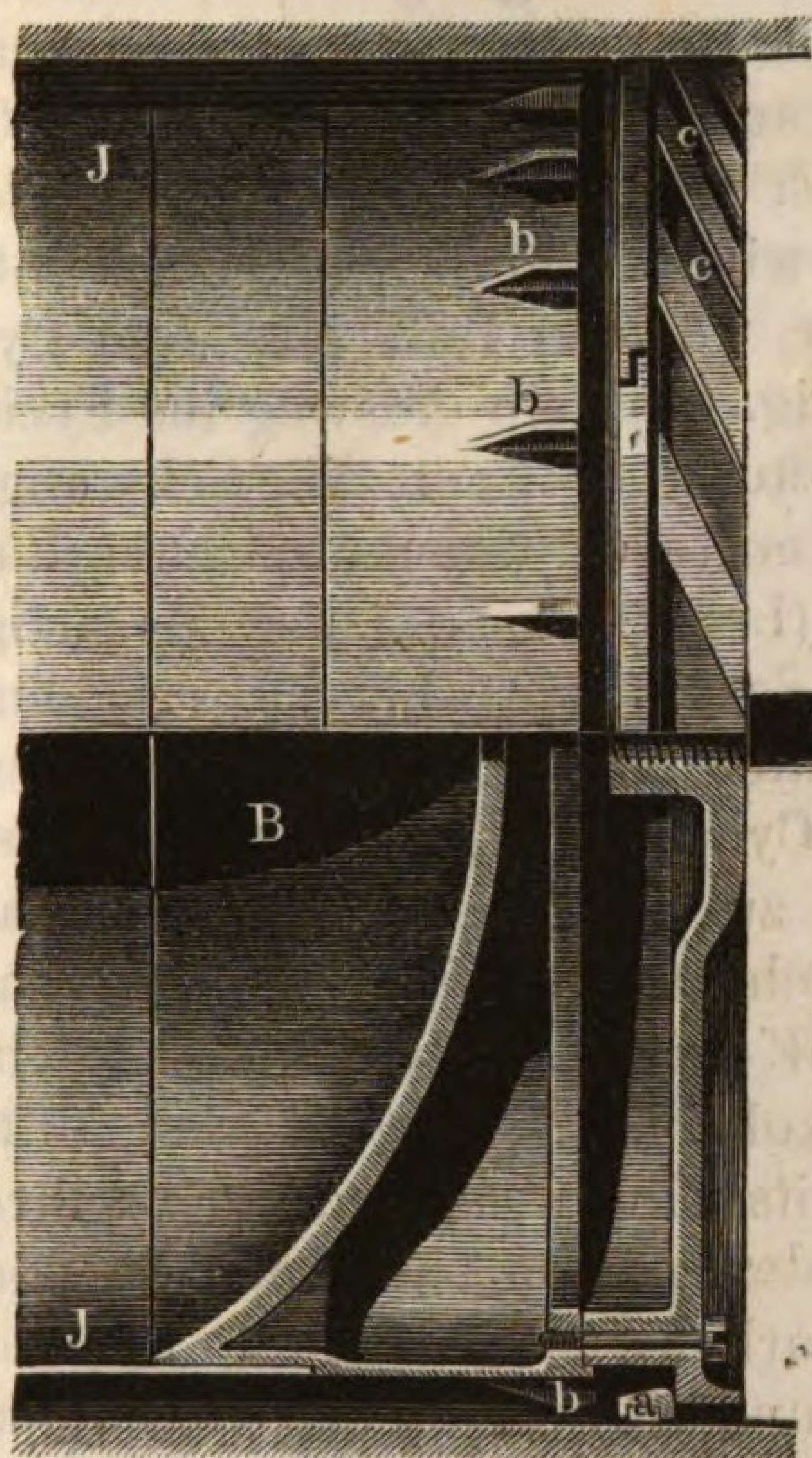
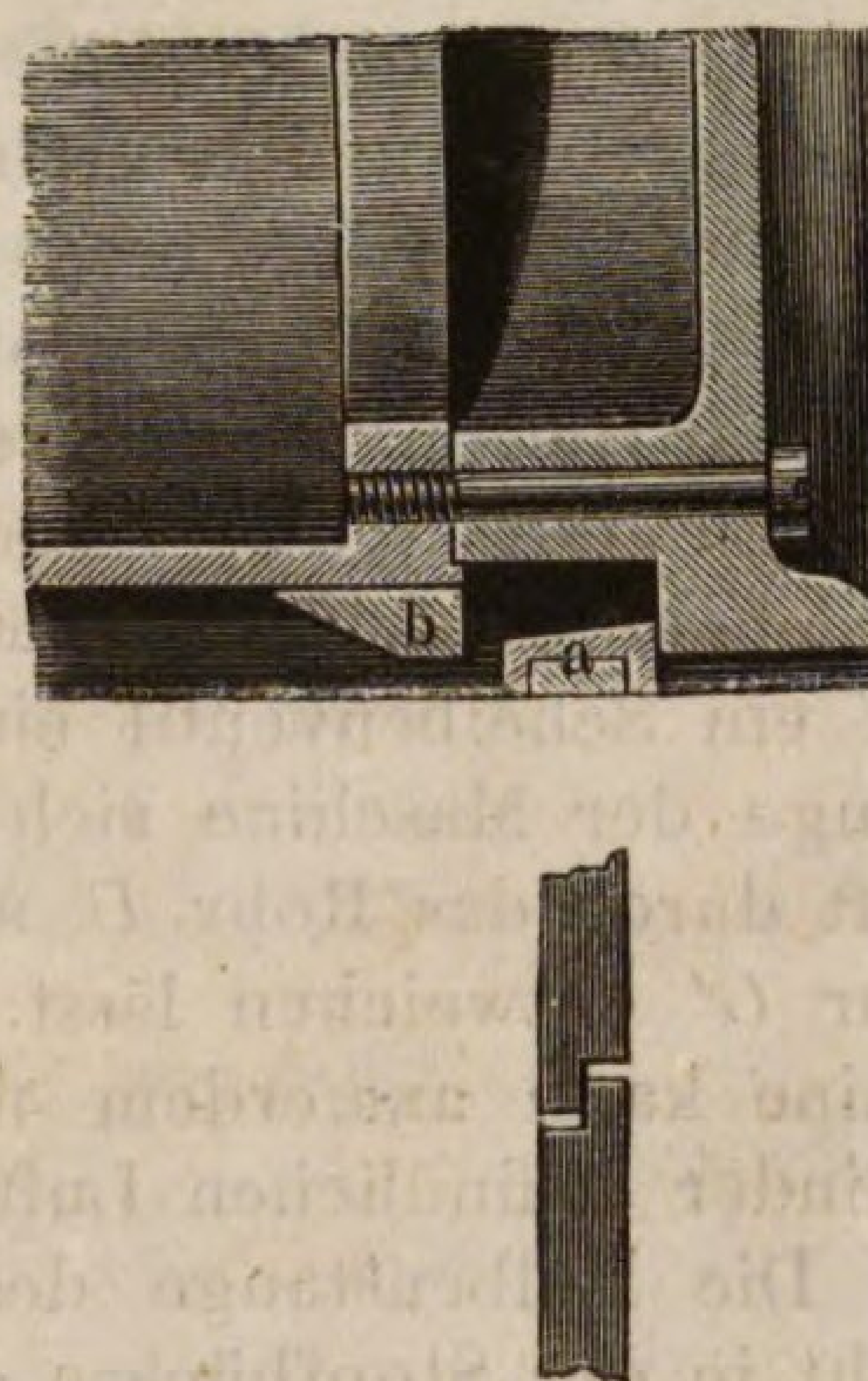


Fig. 454.



geschlossen sind und den Austritt der Luft nach aussen nicht gestatten, wenn sich der Ring *a*, wie in Fig. 454, gegen diese Ausschnitte anlegt, die aber sich öffnen und den Zutritt der Luft in das Innere des Cylinders *A' A'* gestatten, wenn sich der Ring *a* nach der Linken verschiebt und sich gegen die Ansätze *b* anlegt. An den Kolben *B* ist ein Blechcylinder *JJ* angenietet, der sich bei der Bewegung dieses Kolbens dicht über die äussere Wand der Feuerbüchse *D* schiebt, und zwar in dem engen Raume sich bewegt, der von eben dieser Wand und einem zweiten, genau gearbeiteten, an der Wand des Arbeitscylinders *A' A'* angenieteten Blechcylinder *HH* gebildet wird.

Da der Speisekolben *B* mit der heissen Luft fortwährend in Berührung steht, so ist er, um die Wärme von dem Arbeitskolben *C* abzuhalten, theils mit Holzkohlenpulver *c*, theils mit Holz *d* ausgefüttert. Es wird hierdurch ein regelmässiges Arbeiten der Maschine erzielt, da nun eine einfache mit gewöhn-

lichem Talg gut in Schmiere gehaltene Lederdichtung des Kolbens *C* ausreicht.

Die verbrauchte heisse Luft entweicht aus dem Arbeitscylinder *AA'* durch das Auslassventil *S*, welches nach jedem beendeten Kolbenlaufe bei der Rückwärtsbewegung des Speisekolbens *B* von rechts nach links durch den Hebel *Rg* in dem Augenblick geöffnet wird, wo der auf der Schwungradwelle *O* sitzende Daumen *Q* (Fig. 451) sich unter das eine Hebelende unterlegt; das andere Hebelende *g* wird dadurch niedergedrückt, das Ventil *S* aufgestossen und der warmen Luft aus dem Cylinder *AA'* durch das Rohr *G'* (Fig. 451) ein Ausweg ins Freie oder zur Heizung in andere Arbeitsräume eröffnet. Die Schwungradwelle *O* treibt ausserdem noch mittelst zweier conischer Räder einen Centrifugalregulator *T* (I. §. 248), welcher derartig auf ein Scheibenventil einwirkt, dass dieses bei zu raschem Gange der Maschine sich öffnet und einen Theil der heissen Luft durch das Rohr *U* aus dem Cylinder *AA'* in das Abzugsrohr *G'* entweichen lässt. Einem zu raschen Gange der Maschine kann ausserdem noch durch Oeffnen des seitwärts am Cylinder befindlichen Luftventils *W* leicht vorgebeugt werden.

Die Kolbenstange des Speisekolbens *B* bewegt sich luftdicht in der Stopfbüchse des Arbeitskolbens *C*, und erhält ihre Bewegung nicht durch den Druck der heissen Luft, sondern von der Kurbelwelle *O* mittelst der Kurbel *h*, des Bläuels *M* und der um *B'* drehbaren Hebel *K* und *K'*. Am Arbeitskolben *C* sind zwei flache Stangen befestigt, die sich mit ihm hin- und herbewegen, am Gestelle der Maschine ihre Geradführung *ii* haben, und die beiden um die Welle *C'* drehbaren Hebel *L*, *L* in Bewegung setzen. Eben hierdurch wird der Hebel *N* hin- und herbewegt und durch Vermittelung des Bläuels *P* und der Kurbel *h* die Schwungradwelle *OO* rundgedreht.

Da die heisse Luft nur einseitig wirkt und den Arbeitskolben *C* nur in der Richtung von links nach rechts bewegt, so muss die Rückwärtsbewegung beider Kolben durch das Schwungrad bewirkt werden. Zu diesem Zwecke ist der Kranz des letzteren ungleich schwer belastet, und zwar so, dass der schwerere Theil desselben während der Zeit, wo die heisse Luft durch ihre Spannung den Arbeitskolben *C* vorwärts (d. h. von links nach rechts) treibt, gehoben wird, und bei seinem darauf folgenden Niedersinken durch sein Uebergewicht treibend wirkt und den Rückgang der Kolben (d. h. die Bewegung von rechts nach links) ausführt.

Vor dem Anheizen der Maschine stellt man durch Hin- und Herbewegung des Handhebels *V*, dessen Klauen in die am Schwungrade angebrachten Einschnitte eingreifen, die Kurbel *h* so, dass die beiden Kolben, wie in der Zeichnung angegeben ist, ihre äusserste Stellung einnehmen. Es wird dadurch das Schwungrad auf den Punkt gebracht, wo, wenn der Hebel *V* zurückgelegt wird, das Uebergewicht der einen Seite durch seine eigene Schwere niedersinkt und so die Kurbel *h* durch das Hebelsystem *M*, *K*, *K'* den Speisekolben *B* rückwärts bewegt. Ist dann durch Heizen der Feuerbüchse *D* die Temperatur der im Cylinder *A'A'* eingeschlossenen Luft auf den richtigen Grad (etwa 200° R.) gebracht, so löst man den Hebel *V* mit seinen Sperrklinken aus den Sperrzähnen des Schwungrades aus und lässt dieses mit den Kolben zurücklaufen. In Folge der besondern Einrichtung des Hebelmechanismus *h*, *M*, *K*, *K'* wird bei diesem Rückgange der Speisekolben *B* mit bedeutend grösserer Geschwindigkeit, als der Arbeitskolben *C* nach der Feuerbüchse hinbewegt.

Da sich gleichzeitig der Daumen der Welle *O* unter den Hebel *R* legt und dadurch das Auslassventil *S* geöffnet wird, so treibt der Speisekolben die heisse Luft, welche vorher treibend gewirkt hatte, durch das offene Ventil *S* aus dem Cylinder *AA'* in das Ausblaserohr *G'*. Das Ventil *S* schliesst sich jedoch durch die Kraft der Feder *f* etwas früher, ehe der Speisekolben seinen Rückgang ganz vollendet hat; es wird daher die noch zurückgebliebene heisse Luft etwas comprimirt und dadurch bewirkt, dass sich das Ringventil *a*, Fig. 453 und 454, nach rechts ausschiebt und durch Anschluss an die Oeffnungen *c*, *c* des Kolbens diese schliesst.

Bei der anfänglichen schnellen Entfernung des Speisekolbens *B* von dem Arbeitskolben *C* entsteht zwischen beiden Kolben ein luftverdünnter Raum; durch den Ueberdruck der äusseren atmosphärischen Luft werden daher die in dem Arbeitskolben befindlichen Ventile *V*, *V* einwärts geöffnet, und die kalte Luft strömt mit Vehemenz und unter starkem Geräusche in den luftverdünnten Raum zwischen beide Kolben ein. Wenn darauf der Speisekolben *B* beginnt von links nach rechts vorzugehen, ist der Arbeitskolben noch in der rückgängigen Bewegung begriffen; die beiden Kolben nähern sich also, und es schliessen sich daher durch die nun eintretende Comprimirung der zwischen ihnen befindlichen kalten Luft einerseits die Einlassventile *V*, *V*, andererseits aber öffnet sich zugleich nach der

entgegengesetzten Seite das Ringventil *a*, welches durch den Druck der Luft nach links einwärts verschoben wird und sich gegen die Stücke *b*, *b*, Fig. 453, anlegt. Die kalte Luft strömt nunmehr durch die im Speisekolben vorhandenen schrägen Kanäle *c*, *c*, Fig. 453, deren Mündungen von dem Ringventile *a* nicht mehr verdeckt sind, in den hinteren Theil des Cylinders *AA'*, woselbst sie sich an den stark erhitzten Blechwandungen *II*, Fig. 452, des Speisekolbens und an denen des Cylinders *HH*, sowie an der Feuerbüchse *D* plötzlich stark (bis auf 200 bis 250 Grad) erhitzt und sich ausdehnt, ohne an Spannung zuzunehmen. Da nämlich die Kolbeneinschnitte *c* vom Ringventile noch nicht bedeckt sind, so findet zwischen der Luft vor und hinter dem Speisekolben eine freie Communication statt, so dass die ganze im Cylinder *AA'* enthaltene Luftmasse eine gleiche Spannung hat. Nun kehrt auch der Arbeitskolben *C*, dessen Hub nur halb so gross ist, als der des Speisekolbens und der daher noch nicht bis zur Mitte des Cylinders *AA'* vordringt, um; der Speisekolben eilt ihm mit grösserer Geschwindigkeit nach und drängt dadurch den grössten Theil der zwischen beiden Kolben noch befindlichen kalten Luft an den Ofen. Durch die starke Erhitzung derselben entsteht eine vermehrte Spannung und der innere Ueberdruck der heissen Luft über die Spannung der äusseren atmosphärischen Luft wirkt treibend auf den äusseren Arbeitskolben. Eben hierin besteht die Leistung der Maschine.

In der Zeit von jetzt an bis zum Stillstande des Speisekolbens eilt der Arbeitskolben vor; das Ringventil *a* schliesst sich durch die Expansion der zwischen beiden Kolben befindlichen heissen Luft und beide abgeschlossene Luftmassen arbeiten durch Expansion. Wenn der Speisekolben am Ende seiner Bewegung angekommen ist und seinen Rückgang beginnt, wird das Ventil *S* durch den Hebel *Rg* geöffnet, die noch gespannte heisse Luft bläst durch *S* und *G'* aus und es beginnt das Kolbenspiel von Neuem.

Soll die Maschine in Stillstand gesetzt werden, so wird das Auslassventil *S* durch Niederdrücken des Abstellhebels *X*, Fig. 451, geöffnet, wodurch die heisse Luft durch das Rohr *G'* entweicht.

Da die Dimensionen der calorischen Maschine für grössere Kraftleistungen gar zu gross ausfallen würden, so werden dieselben gegenwärtig fast nur in den Gränzen von 1 bis 5 Pferdekräften gebaut. Die Vorzüge, die sie in diesen Gränzen vor den gleich starken Dampfmaschinen haben, bestehen in der gänz-

lichen Gefahrlosigkeit, in der Einfachheit der Handhabung, in dem geringen Raume, den sie einnehmen, in der Vermeidung von Kesselanlagen und den dazu erforderlichen polizeilichen Concessionen und endlich in einer sehr erheblichen Ersparniss an Brennmaterial.

12. Entzündliche Gase als bewegende Kraft.

Die Lenoir'sche Gaskraftmaschine. Die Idee, die ex- 279
plodirende Kraft des Schiesspulvers zur Erzeugung eines leeren Raumes und damit zugleich zum Betriebe einer Kraftmaschine zu verwenden, datirt vom Jahre 1673, wo der Holländer Huygens in Verbindung mit Denis Papin (§. 235) sich bemühte, durch die bei der Entzündung des Pulvers entstehenden Gase in einem Cylinder eine Luftverdünnung hervorzubringen und alsdann den Druck der atmosphärischen Luft zum Niedertreiben eines Kolbens wirksam zu machen. Beide kamen indessen über die blossen Versuche nicht hinaus. Die Versuche, die in der neueren Zeit von Moeff gemacht worden sind, um das explosive Gemenge von Wasserstoff- und Sauerstoffgas durch den elektrischen Funken zu entzünden und die dadurch erzeugte ungemein grosse Hitze dazu zu verwenden, um die Producte der Verbrennung zu expandiren und auf einen Kolben wirken zu lassen, fielen zwar günstiger aus, jedoch blieben die nach diesem Princip construirten Maschinen weit davon entfernt, vollkommen zu sein und haben überhaupt eine praktische Anwendung nicht gefunden.

Lenoir in Paris nahm statt des Gemenges aus Wasserstoff und Sauerstoff, welches bei seiner Entzündung sehr heftige, gefährliche und schwer zu beherrschende Explosionen hervorbringt, ein Gemenge von gewöhnlichem Leuchtgase und atmosphärischer Luft. Da jenes zumeist aus Wasserstoff und Kohlenstoff, die atmosphärische Luft aber aus Sauerstoff und Stickstoff besteht, so finden sich in dem von Lenoir angewandten Gasgemenge dieselben beiden Gase vermengt mit zwei anderen Gasen wieder, welche für sich allein in richtigem Verhältnisse das gefährliche Knallgas darstellen. Eben hierdurch aber wird die Heftigkeit der Detonationen gemildert und jede Gefahr beseitigt, wenn, wie es in der Lenoir'schen Maschine geschieht, das Leuchtgas nur in einem sehr geringen Verhältnisse, und zwar zu 2 und höchstens zu 5 Theilen

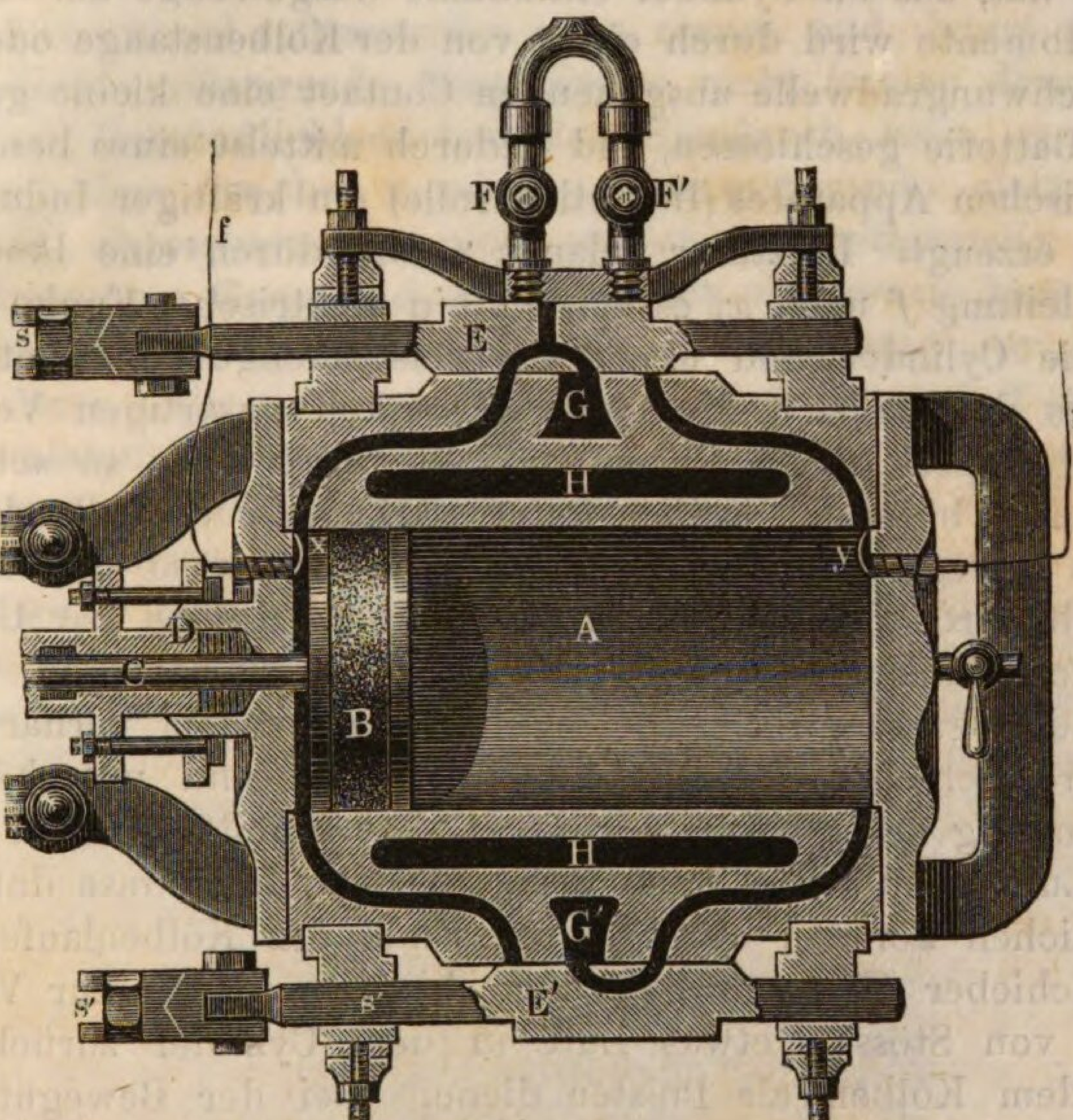
auf resp. 98 und 95 Theile Luft angewandt wird. Durch die Entzündung des Gasgemenges und durch die bei der vollkommenen Verbrennung desselben erzeugte grosse Hitze werden die entstehenden gasigen Producte der Verbrennung, Wasserdampf, Kohlensäure und Stickstoff, bedeutend ausgedehnt und es wird hierdurch im Innern eines Cylinders ein ziemlich starker Druck auf den Triebkolben ausgeübt. Die Entzündung des Gasgemenges geschieht durch einen elektrischen Funken.

Die Gaskraftmaschine Lenoir's gleicht im Aeussern fast vollständig einer Dampfmaschine mit liegendem Cylinder; sie besteht aus einem Cylinder mit Kolben, Kolbenstange und Bläuel; letzterer wirkt auf eine Kurbel und setzt, wie in der Dampfmaschine, durch die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens die Schwungradwelle in Umdrehung. Auf letzterer sitzen zwei excentrische Scheiben, welche die Steuerung ausmachen und einestheils das frische Gasgemenge in den Cylinder einführen, anderentheils die verbrauchten todten Gase aus der Maschine abführen.

Der Cylinder mit der Steuerung ist in Fig. 455 in horizontalem Durchschnitt abgebildet. A ist der eigentliche Cylinder, B der Kolben, C die durch eine Stopfbüchse D gut gedichtete Kolbenstange, E und E' sind die beiden Schieberplatten, die in einer besondern Führung laufen und durch starke Federn gegen die Steuerkammern angepresst werden, s, s_1 die von den excentrischen Scheiben geführten Schieberstangen, F, F' die Hähne, welche das Gas liefern, G die Mündung der Röhre, welche die Luft zuführt. Die Stellung der Hähne F, F_1 muss so regulirt werden, dass der Zufluss des Gases, der durch den Schieber E vermittelt wird, zu dem der Luft sich verhält wie 2 zu 98. Auf der entgegengesetzten Seite von E befindet sich der Auslassschieber E', der die todten Gase durch das bei G' mündende Rohr aus der Maschine abführt. Der ganze Cylinder ist von einem hohlen Mantelraume HH umgeben, in welchem stets erneuetes, kaltes Wasser circulirt, um die durch die beständigen Gasverbrennungen erhitzten Cylinderwände abzukühlen. Das Kühlwasser fliesst aus einem höher stehenden Behälter oder aus der Wasserleitung der Stadt in einem dünnen Strahle zu, erwärmt sich in dem Mantel HH bis zum Kochen und kann nach seinem Austreten aus der Maschine zur Heizung von Localen oder zu anderen häuslichen oder technischen Zwecken benutzt, und abgekühlt wieder in das bezeichnete Reservoir zurückgebracht werden.

Durch die beiden Cylinderböden sind zwei in den Cylinder ein wenig hineinragende Platin- oder Kupferdrähte *y*, *x* isolirt

Fig. 455.



hindurchgeführt und mit ihren Spitzen gegen die metallische Cylinderwand genähert. Sie dienen zur Leitung des galvanischen Stromes und zur Erzeugung des elektrischen Funkens, der das Gasgemenge im rechten Augenblicke entzünden soll.

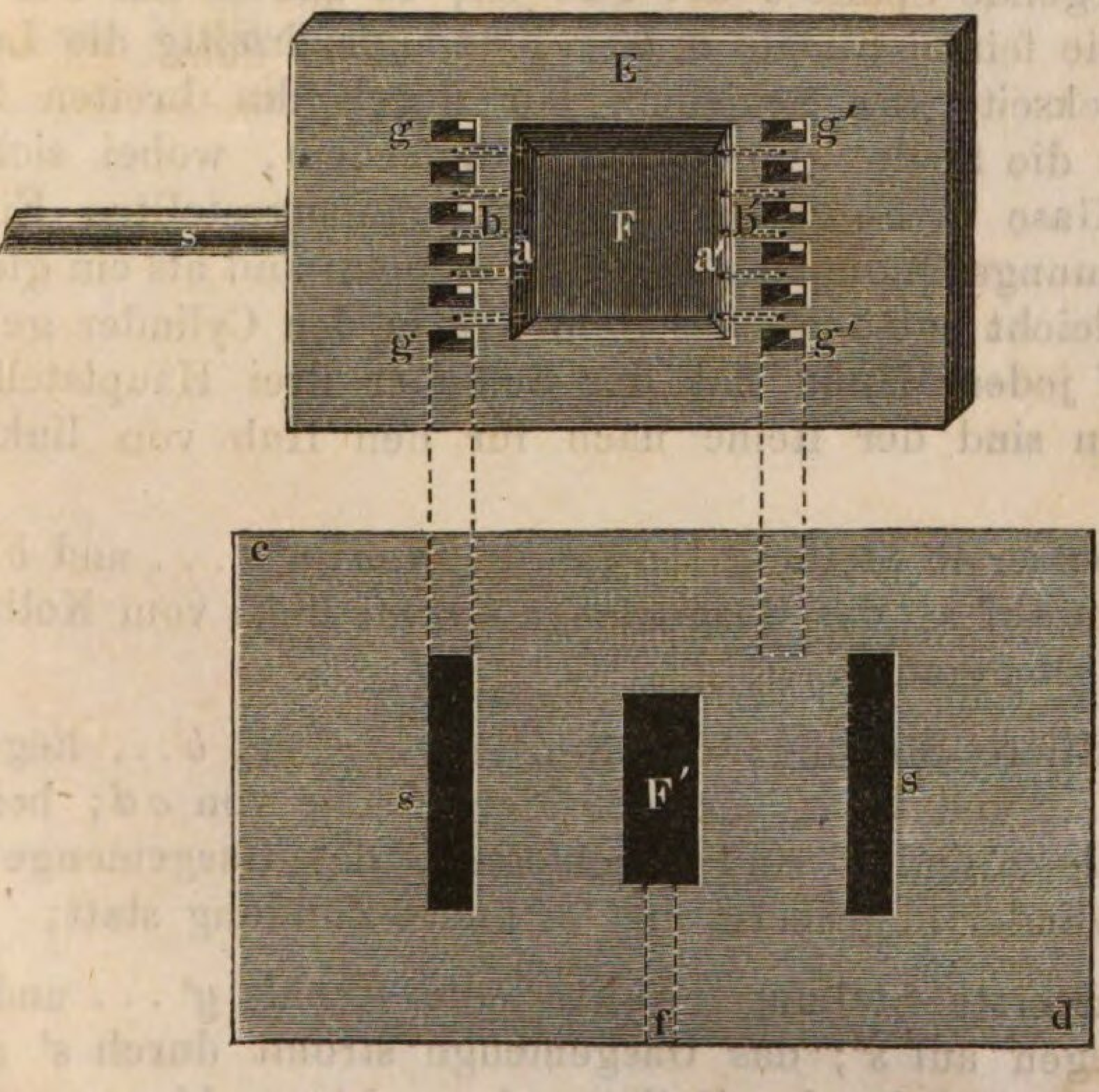
Die Maschine wird nun auf folgende Weise in Bewegung gesetzt. Wenn sich der Kolben am äussersten linken Ende seines Laufes befindet, wird durch die lebendige Kraft des Schwungrades nicht bloss der todte Punkt überwunden, sondern auch der Kolben auf eine bestimmte Strecke nach rechts hin bewegt. Sobald der Kolben sich nach rechts in Bewegung setzt, steht der Schieber *E* in der Stellung, die in der Zeichnung angegeben ist; das Gas strömt dann in Gemeinschaft mit der bei *G* durch ein Ventil einströmenden atmosphärischen Luft durch den Schieberkanal auf der linken Seite des Kolbens in den Cylinder ein. Mit der Bewegung des Kolbens nach rechts,

die durch die lebendige Kraft des Schwungrades bewirkt wird, bewegt sich zugleich der Schieber *E* nach rechts und schliesst alsbald, wenn der Kolben etwa $1/4$ oder $1/3$ seines Laufes vollendet hat, das im Cylinder enthaltene Gasgemenge ab. In diesem Momente wird durch einen von der Kolbenstange oder von der Schwungradwelle ausgehenden Contact eine kleine galvanische Batterie geschlossen, und dadurch mittelst eines besondern elektrischen Apparates (Inductionsrolle) ein kräftiger Inductionsstrom erzeugt. Letzterer gelangt sofort durch eine besondere Drahtleitung *f* nach *x*, es springt ein elektrischer Funke von *x* auf die Cylinderwand über, das Gasgemenge wird entzündet und es dehnen sich die oben genannten gasartigen Verbrennungsproducte durch die entwickelte grosse Hitze so sehr aus, dass nicht bloss der Kolben unter starkem Druck vollends nach rechts bewegt, sondern auch dem Schwungrade so viel an Kraft ertheilt wird, als erforderlich ist, um den Kolben zur Umkehr und noch eine gewisse Strecke nach links zu bewegen. Während der ganzen Kolbenbewegung nach rechts verharrt der vordere Schieber *E'* fast ganz in Ruhe und unterhält die Verbindung des rechts gelegenen Cylindertheiles mit der äusseren Luft, damit die darin enthaltenen todten Gase durch *G'* entweichen können. Erst gegen Ende des Kolbenlaufes geht der Schieber *E'* rasch nach links hinüber, damit zur Vermeidung von Stössen etwas Luft in dem Cylinder zurückbleibe und dem Kolben als Polster diene. Bei der Bewegung des Kolbens nach rechts geht der Schieber *E* mit nach rechts und verbindet in dem Augenblicke, wo die Umkehr des Kolbens von rechts nach links erfolgt, seinen Gaskanal mit dem Luftrohre *G*; es strömt daher bei weiterer Bewegung des Kolbens nach links, welche wieder durch die lebendige Kraft des Schwungrades bewirkt wird, das Gasgemenge auf der rechten Seite des Kolbens ein, wo es wieder durch Ueberspringen eines elektrischen Funkens bei *y* entzündet wird, wenn der Kolben einen angemessenen Theil seines Hubes zurückgelegt und der nach links zurückgehende Schieber *E* dasselbe im Cylinder abgesperrt hat.

Die Art und Weise, wie der elektrische Zündapparat in Thätigkeit gesetzt wird, können wir hier nicht näher beschreiben, weil dieses eine vollständige Bekanntschaft mit den Erscheinungen des Galvanismus voraussetzen würde; es genüge die Bemerkung, dass sowohl die Wirkung als die Unterhaltung desselben mit sehr wenigen Schwierigkeiten und Kosten verbunden ist.

Der Steuerungsmechanismus *E*, wie er vorhin beschrieben und von Lenoir anfänglich angewandt wurde, leidet an dem Uebelstande, dass die durch *G* einströmende atmosphärische Luft sich nicht gleichmässig und vollständig mit dem durch den Schieberkanal zufliessenden Gase mengt und daher das in den Cylinder gelangende Gasgemenge nicht immer denselben Grad der Entzündlichkeit besitzt. Hierdurch kann es dann kommen, dass der bei *x* oder *y* überspringende elektrische Funke das abgesperrte Gas nicht zündet, was nothwendig einen unregelmässigen Gang und, wenn es sich einigemale kurz nach einander wiederholt, den Stillstand der Maschine zur Folge haben muss. Die neueren Maschinen sind daher mit anders eingerichteten Schiebern versehen, durch welche das Gas beim Einströmen in den Cylinder in vielen Punkten mit der gleichfalls einströmenden atmosphärischen Luft in Berührung gebracht und so innig gemengt wird, dass die Zündung des elektrischen Funkens regelmässig erfolgt. Ein solcher Schieber ist mit der entsprechenden Cylinderfläche, über welcher er gleitet, in Fig. 456 abgebildet. Die Schieberplatte *E*, welche mit der dem Beschauer zugewandten Seite über der auf dem Cylinder liegen-

Fig. 456.



den Fläche *cd* gleitet, hat in ihrer Mitte eine Aushöhlung *F*, welche bei jeder Schieberstellung die Gaseinströmungsöffnung *F'* bedeckt hält. Durch einen Seitenkanal *f* wird das Gas aus der Gasleitung beständig dem Raume *F'* zugeführt, und gelangt so in einem fast stetigen Strome unter die Schieberhöhlung *F*. Von dem inneren Raume *F* aus gehen mehrere feine Kanäle *a*... *a'*... in schräger Durchbohrung nach beiden Endflächen des Schiebers hin und münden auf der Schieberfläche selbst aus. In der Linie dieser Oeffnungen ist der Schieber mit mehreren ziemlich breiten Spalten *g*, *g'* ... versehen, welche mit den Mündungen der Kanäle *a*, *a'* abwechseln, durch den ganzen Körper des Schiebers hindurchgehen und so auf der Rückseite des Schiebers an die Luft ausmünden.

Die Gleitfläche *cd* hat zu beiden Seiten des Gaskanals *F'* zwei rechteckige Spalten *s*, *s'*, von denen die erstere *s* in den vorderen Theil des Cylinders bei *x*, Fig. 455, die andere *s'* in den hinteren Theil bei *y* ausmündet. Bei dem Hin- und Hergleiten des Schiebers *E* über die Fläche *cd* treffen die Luft- und Gaskanäle *g* ... *b* ..., sowie *g'* ... *b'* ... desselben abwechselnd mit den Kanälen *s* und *s'* zusammen; findet ein solches Zusammentreffen statt, wie es z. B. in der Figur für die links liegende Spalte *s* der Fall ist, so strömt das Gas aus *F* durch die feinen Kanäle *a*, *b* ..., und gleichzeitig die Luft von der Rückseite des Schiebers her durch die breiten Spalten *g* ... in die Spalte *s* und den Cylinder ein, wobei sich diese beiden Gase in Folge der dicht zusammengestellten Ein- und Ausströmungsöffnungen sehr innig mengen und als ein gleichförmiges, leicht entzündliches Gemenge in den Cylinder gelangen.

Auf jedem Hube hat der Schieber drei Hauptstellungen; dieselben sind der Reihe nach für den Hub von links nach rechts:

1. Aeusserste Stellung links: die Kanäle *g* ... und *b* ... liegen auf *s*; das Gasgemenge strömt links vom Kolben ein, *s'* ist geschlossen;

2. mittlere Stellung: die Kanäle *g* ... und *b* ... liegen wie *g'* ... und *b'* ... auf der Metallfläche von *cd*; beide Kanäle *s* und *s'* sind geschlossen, das Gasgemenge ist im Cylinder abgesperrt und es findet Zündung statt;

3. äusserste Stellung rechts: die Kanäle *g'* ... und *b'* ... liegen auf *s'*; das Gasgemenge strömt durch *s'* auf der rechten Seite des Kolbens ein, *s* ist geschlossen.

Die Gasmaschine arbeitet ebenso ruhig und gleichmässig, wie die Dampfmaschine, und bei der verbesserten Schiebereinrichtung gehören Störungen durch Nichtentzündungen oder zu starke Explosionen zu den Seltenheiten. Wo das Kühlwasser nicht aus den öffentlichen Leitungen genommen werden kann, muss die Maschine dasselbe aufpumpen. Die Unterhaltungs- und Betriebskosten scheinen sich zwar im Vergleich zu der Dampfmaschine ungünstig zu stellen; dem steht jedoch der unschätzbare Vortheil gegenüber, dass man die Maschine selbst in den beschränktesten Localitäten, auf jedem Stockwerke und fast in jedem Winkel unterbringen kann, und dass sie keine Auslagen macht, wenn man sie vorübergehend still hält. An eine Concurrenz der Gasmaschine mit der Dampfmaschine ist jedoch vorläufig um so weniger zu denken, als dieselbe eine gewisse niedrige Gränze des Effectes nicht überschreiten darf, wenn sie nicht die meisten ihrer Vorzüge wieder einbüssen soll. Für kleine Arbeitsgrössen, z. B. zum Ersatz von Raddrehern und überhaupt innerhalb der Gränzen von 1 bis 2 Pferdekräften, kann jedoch die Gasmaschine die Stelle einer Dampfmaschine mit Vortheil ersetzen, wie sie denn auch gegenwärtig in mehreren Städten zum kleineren Handwerksbetriebe, z. B. von Posamentirern, Tischlern, Drechslern, Mechanikern u. s. w., mit Vortheil verwandt wird.

Die Gasmaschine arbeitet ebenso ruhig und gleichmässig wie die Dampfmaschine; nur bei den verbesserten Schiebervorrichtungen gehören Störungen durch Nichtentzündungen oder zu starke Explosionen zu den Seltenheiten. Wo das Kühlwasser nicht aus den öffentlichen Leitungen genommen werden kann, muss die Maschine dasselbe zutragen. Die Unterhaltungs- und Betriebskosten scheinen sich zwar im Vergleich zu der Dampfmaschine ungünstig zu stellen, dagegen steht jedoch der unschätzbare Vortheil gegenüber, dass man die Maschine selbst in den beschränktesten Localitäten, auf jedem Stockwerke und fast in jedem Winkel unterbringen kann, und dass sie keine Anlagen macht, wenn man sie vorübergehend still hält. An eine Concurrenz der Gasmaschine mit der Dampfmaschine ist jedoch vorläufig um so weniger zu denken, als dieselbe eine gewisse mässige Stärke des Effectes nicht überschreiten darf, wenn sie nicht die meisten ihrer Vorzüge wieder einbüssen soll. Für kleine Arbeitsgrössen, z. B. zum Ersatz von Radtretern und überhaupt innerhalb der Grenzen von 1 bis 2 Pferdekräften, kann jedoch die Gasmaschine die Stelle einer Dampfmaschine mit Vortheil ersetzen, wie sie denn auch gegenwärtig in mehreren Städten zum kleineren Handwerksbetriebe, z. B. von Posamentierern, Tischlern, Drechslern, Mechanikern u. s. w. mit Vortheil verwandt wird.

Im Verlage von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig ist erschienen:

Anfangsgründe der geometrischen Disciplinen

für

Gymnasien, Real- und Gewerbeschulen, sowie auch zum Selbstunterrichte bearbeitet von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

gr. 8. Fein Velinpap. geh.

In drei Theilen.

Erster Theil:

Elemente der ebenen Geometrie und Stereometrie.

Zweite verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 141 in den Text eingedruckten Holzstichen, einer Maassstabstafel und einer Tafel mit vier Transporteuren. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 15 Sgr.

Zweiter Theil:

Elemente der ebenen und sphärischen Trigonometrie.

Zweite verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 25 in den Text eingedruckten Holzstichen und einer Tafel mit Netzen. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 10 Sgr.

Dritter Theil:

Elemente der analytischen Geometrie in der Ebene und im Raum.

Mit 90 in den Text eingedruckten Holzstichen und einer Tafel mit Netzen. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 15 Sgr.

Die wesentlichsten geometrischen Wahrheiten, deren Kenntniss für Jeden unentbehrlich ist, welcher sich mit Erfolg dem Studium der höheren Mathematik, der Mechanik, der Ingenieur-Wissenschaften, der Physik u. s. w. widmen will, finden sich in diesem Werkchen in möglichst leicht fasslicher Weise zusammengestellt und durch zweckmässig gewählte Constructionsbeispiele erläutert, wodurch das Vorgetragene zu lebendiger Anschauung erhoben, dem Gedächtnisse eingeprägt und so eingeübt wird, wie es nöthig ist, um davon praktische Anwendungen machen zu können.

Die Masse des vorgetragenen Materials wurde auf das Nothwendigste beschränkt, um nicht durch Ueberladung den rascheren Fortschritt zu hemmen und die Uebersicht zu stören; dagegen sind die besprochenen Sätze ausführlich genug behandelt, um keine Unklarheit beim Leser zurückzulassen. Wenige klar verstandene, förmlich zu geistigem Eigenthum gewordene Wahrheiten nützen mehr als ein ganzer Wust oberflächlicher Notizen, mit denen man Nichts anzufangen weiss.

Die Darstellung dieser „Anfangsgründe“ ist so gehalten, dass sie eben so gut für den Schulunterricht sich eignen (in der That hatte der Verfasser mehrere Jahre lang Gelegenheit als Lehrer der Mathematik an der Realschule zu Giessen, sich von der Zweckmässigkeit der hier befolgten Methode zu überzeugen) als auch für den Selbstunterricht.

Das ganze Werkchen zerfällt in drei Theile, von denen jeder auch für sich allein bezogen werden kann, nämlich:

1) Die Elemente der ebenen Geometrie und Stereometrie.
2) Die Elemente der ebenen und sphärischen Trigonometrie.

3) Die Elemente der analytischen Geometrie in der Ebene und im Raum.

Die vorstehenden „Anfangsgründe der geometrischen Disciplinen“ enthalten alle geometrischen Sätze, von welchen sowohl in meinem Grundriss, als auch in meinem Lehrbuch der Physik und Meteorologie Anwendung gemacht worden ist, sie können deshalb gewissermassen als eine geometrische Einleitung zu diesen physikalischen Werken betrachtet werden.

Abdrücke der Maassstabtafel, des Transporteurs und der Netze zu körperlichen Modellen, welche jedem vollständigen Exemplare des Buches beigegeben sind, können auch für sich allein zum Preise von 3 Sgr. bezogen werden.

Kurzes Lehrbuch der Chemie

von Victor Regnault und Adolph Strecker,

Professoren an den Universitäten zu Paris und Tübingen.

In zwei Bänden.

Erster Band.

Anorganische Chemie

von Victor Regnault und A. Strecker.

Fünfte Auflage. gr. 12. Sat. Velinpap. Mit 181 Holzstichen. Preis 2 Thlr.

Zweiter Band.

Organische Chemie

von Adolph Strecker.

Dritte Auflage. gr. 12. Sat. Velinpap. Mit 45 Holzstichen. Preis $1^5/_6$ Thlr.

Dieses kurze Lehrbuch der Chemie ist für Studirende an Universitäten, polytechnischen Lehranstalten und Gewerbeschulen bestimmt, für Gebildete, welche sich mit den Lehren der Chemie bekannt machen wollen, für Aerzte und andere Fachmänner, welchen Kenntniss des neuen Zustandes der Chemie unabweisbares Bedürfniss ist.

Das Werk ist in zwei Bänden erschienen, von welchen der erste die anorganische und einen kurzen Abriss der organischen Chemie umfasst, der zweite aber die organische Chemie im Umfange der anorganischen Chemie behandelt. Der erste Band, welcher so günstig aufgenommen ist, dass bereits seit seinem ersten Erscheinen (1851) eine fünfte Auflage nöthig wurde, ist ein für sich Abgeschlossenes und möchte für Diejenigen ausreichen, welche sich mit der anorganischen Chemie und einer Uebersicht der wichtigsten Theile der organischen Chemie bekannt machen wollen.

In dem von Herrn Professor Strecker selbständig bearbeiteten zweiten Bande, von welchem gleichfalls rasch eine dritte Auflage nöthig wurde, welche in wesentlich verbesserter und erweiterter Form erschienen ist, ist dagegen die organische Chemie ihrem ganzen Umfange nach übersichtlich dargestellt. Alle durch ihre Anwendung oder in theoretischer Beziehung wichtigen organischen Stoffe sind mit genügender Ausdehnung abgehandelt. Ihr Vorkommen, ihre Gewinnung, Eigenschaften, Anwendung und Zersetzungen findet man beschrieben. Die neueren Theorien über die Constitution der organischen Stoffe finden sich darin ausführlich entwickelt. Auch dieser zweite Band bildet ein für sich bestehendes Werk.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Schellen, Heinrich,

Die Schule der Elementar-Mechanik und Maschinenlehre für den Selbstunterricht angehender Techniker, Mechaniker, Industrieller, Landwirthe, Bergmänner, Architekten, Bauhandwerker, Werkführer, Mühlen- und Fabrikbesitzer sowie für Gewerbe- und Realschulen ; in zwei Theilen ; Bd.: 2

Braunschweig (1862)

Math.a. 213 gh-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10081125-6